Изданіе Ф. Павленкова.

ПОПУЛЯРНЫЯ ЛЕКЦІИ

ОБЪ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ И МАГНИТИЗМѢ

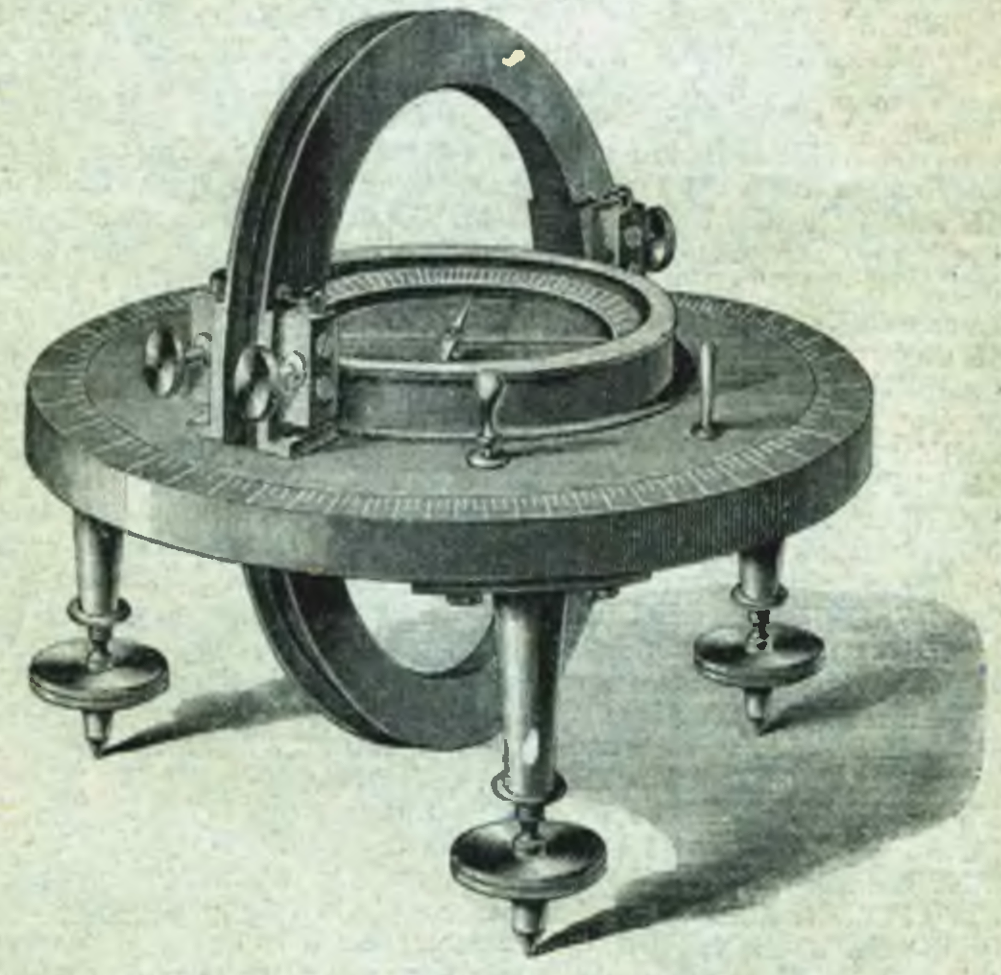
ДОКТОРА ФИЗИКИ

О. Хвольсона.

Съ 220-ю рисунками въ текстѣ.

2-е изданіе,

ПЕРЕСМОТРѢННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Товарищества „Общественная Польза“, Большая Подъяческая, № 39.

1886.

ИЗДАНІЯ Ф. ПАВЛЕНКОВА.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВѢЩЕНІЕ въ примѣненіи къ жизни и военному искусству. Составилъ *В. Чиколевъ*. Спб. 1886 г. Около 150 рисунковъ. **Цѣна 2 р.**

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНИТИЗМЪ. Составили *А. Гано* и *Ж. Маневрье*. Переводъ *Ф. Павленкова*, *В. Черкасова* и *С. Степанова* (изъ «Полн. Курса Физики» Гано). Спб. 1885 г. Около 300 стр. съ 340 рис. **Цѣна 1 р. 50 к.**

СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКѢ. *В. Чиколева*. **Цѣна 75 к.**

ПОПУЛЯРНАЯ ХИМІЯ. *Н. Вальберха* и *Ф. Павленкова*. 2-е изд. **Ц. 40 к.**

УЧЕБНИКЪ ХИМИИ. Въ объемѣ курса реальныхъ училищъ. Составилъ *А. Альмедингенъ*. Спб. 1885 г. Съ 96 рис. и сборник. 140 хим. зад. и вопр. **Ц. 2 р.**

ПОПУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. *А. Гано*. Перевелъ съ франц. *Ф. Павленковъ*, 3-е изданіе. Съ 604 рис. и 200 вопросами. **Цѣна 2 руб.**

ПОПУЛЯРНЫЯ ЛЕКЦИИ ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ И МАГНИТИЗМѢ. Д-ра физики *О. Хвольсона*. Съ 220 рис. Спб. 1886 г. 2-е изданіе. **Цѣна 2 р.**

ГЛАВНѢЙШІЯ ПРИЛОЖЕНІЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА *Э. Госпиталье*. Переводъ *С. Степанова*, редактора журнала «Электричество», со множествомъ рисунковъ. Спб. 1886 г. 2-е доп. изданіе **Ц. 3 р.** (Вышло въ ноябрѣ).

ПОЛНЫЙ КУРСЪ ФИЗИКИ *А. Гано*. Переводъ *Ф. Павленкова* и *В. Черкасова*. 6-е изд. Съ 1232 рисунками, 2-мя раскраш. таблицами спектровъ, 170 задачами, обзоромъ метеоролог. явленій и краткимъ очеркомъ химіи. **Цѣна 4 руб.**

ЧТО СДѢЛАЛЪ ДЛЯ НАУКИ Ч. ДАРВИНЪ? Популярный обзоръ его трудовъ, составленный *Гексли*, *Гейки*, *Дайеромъ* и *Романесомъ*. Съ портретомъ Дарвина, гравир. на стали. Перев. *Г. Лопатина*. **Цѣна 75 к.**

ОБЩЕПОНЯТНАЯ ГЕОМЕТРІЯ, *В. Потоцкаго*. Съ 143 черт. и 204 зад. **Ц. 40 к.**

ЧАСТНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ДІАГНОСТИКА. Руководство для практическихъ врачей. Составилъ профессоръ *Да-Коста*. Перевелъ съ нѣмецкаго, по рекомендаціи проф. *В. Манасеина*, д-ръ *Д. Фридбергъ*. 704 стр. съ 43-мя рис. **Ц. 3 р. 50 к.**

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АНАТОМІЯ, ФИЗІОЛОГІЯ И ГИГІЕНА. *М. Герасимова*. Съ необходимыми свѣдѣніями относительно поданія первой помощи въ несчастныхъ случаяхъ. 2-е изданіе съ 65 рисун. **Цѣна 75 к.**

ПСИХОЛОГІЯ ВЕЛИКИХЪ ЛЮДЕЙ. Профессора *Г. Жоли*. **Цѣна 1 р. 25 к.**

РОЛЬ ОБЩЕСТВЕННАГО МНѢНІЯ ВЪ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЖИЗНИ. *Ф. Гольцендорфа*. **Ц. 75 к.**

НАШИ ОФИЦЕРСКІЕ СУДЫ. *Ф. Павленкова*. **Цѣна 35 к.**

ЗЕМСКАЯ СЛУЖБА. Бесѣды гласнаго крестьянина Акима Простоты. Состав. *Н. Блиновъ*. Книга эта знакомитъ съ основами зем. самоуправленія. **Ц. 50 к.**

СЕЛЬСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ СЛУЖБА. Бесѣды старосты-крестьянина Акима Простоты. Составилъ *Н. Блиновъ*. 210 стр. **Цѣна 50 к.**

ЗАКОНЫ О ГРАЖДАНСКИХЪ ДОГОВОРАХЪ, общепонятно изложенные и объясненные, съ приложеніемъ образцовъ всякаго рода договоровъ. Составилъ *В. Фармаковскій*. Изданіе 4-е дополненное. Спб. 1884 г. **Ц. 1 р. 25 к.**

НАЧАЛЬНЫЙ КУРСЪ ГЕОГРАФІИ. *Корнеля*. 11-е дополненное изданіе, съ 10-ю раскрашенными картами и 82 политипажами. Спб. 1883 г. **Цѣна 1 р 25 к.**

ХЛѢБНЫЙ ЖУКЪ. Чтеніе для народа, съ 3 рис. *Барона Корфа*. **Ц. 10 к.**

КАКЪ ОБУЧАТЬ ГРАМОТѢ РЕБЯТЪ И ВЗРОСЛЫХЪ. *Н. А. Корфа*. **Ц. 10 к.**

НАГЛЯДНАЯ АЗБУКА. (Чтеніе и письмо по картинкамъ). *Ф. Павленкова*. Азбука для обученія и самообученія грамотѣ по наглядно-звуковому способу, съ **800 рисунками** и краткимъ наставленіемъ для учителя. **Ц. 20 к.**

ОБЪЯСНЕНІЕ КЪ «НАГЛЯДНОЙ АЗБУКѢ», или *подробное* наставленіе, какъ учить по «Наглядной азбукѣ», 6-е изданіе. **Цѣна 15 к.**

РОДНАЯ АЗБУКА. *Ф. Павленкова*. 5-е изданіе, 32 страницы съ **200 рисунками** и наставленіемъ, какъ учить по этой азбукѣ. **Цѣна 5 к.**

АЗБУКА-КОПѢЙКА. *Ф. Павленкова*. 7-е изд., 12 стр. 100 рис. **Цѣна 1 к.**

НАГЛЯДНО ЗВУКОВЫЯ ПРОПИСИ:

1) КЪ «РОДНОМУ СЛОВУ» Ушинскаго (400 рис.). 3-е изд.
2) КЪ АЗБУКѢ БУНАКОВА (460 рис.). 2-изд.
3) «ПЕРВОЙ УЧЕБНОЙ КНИЖКѢ» Паульсона (430 рис.).
4) КЪ «РУССКОЙ АЗБУКѢ» Водовозова (470 рис.).
5) ОБЩІЯ НАГЛ.-ЗВУК. ПРОПИСИ (къ др. азбукамъ 463 р.)

Составилъ *Ф. Павленковъ*. **Ц. каждой книжки 8 к.**

НАШЪ ДРУГЪ. Книга для чтенія въ школѣ и дома. Составилъ *Баронъ Н. А. Корфъ*. 13-е изданіе, съ 227 рисун. и портретами. **Цѣна 75 коп.**

О СПОСОБАХЪ ОБУЧЕНІЯ ВЪ СЕМЬѢ И ШКОЛѢ. Составилъ *П. Блиновъ*. 3-е значительно допол. изданіе со многими рис. въ текстѣ. **Цѣна 40 к.**

РУКОВОДИТЕЛЬ ДЛЯ ВОСКРЕСНЫХЪ ПОВТОРИТЕЛЬНЫХЪ ШКОЛЪ. Составилъ *Баронъ Н. А. Корфъ*. **Цѣна 50 коп.**

ПОПУЛЯРНЫЯ ЛЕКЦІИ

ОБЪ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ И МАГНИТИЗМѢ

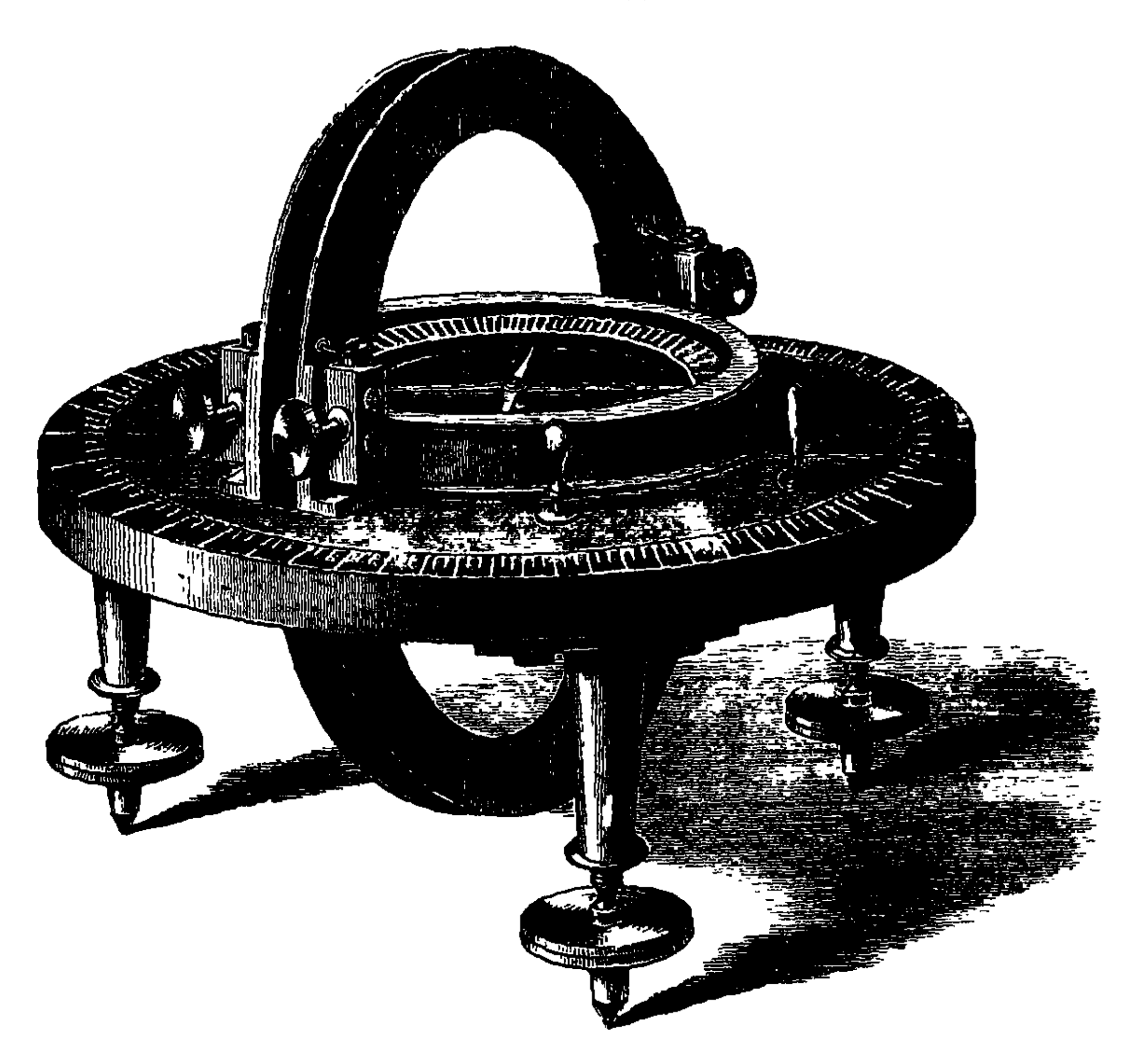
ДОКТОРА ФИЗИКИ

О. Хвольсона.

Съ 220-ю рисунками въ текстѣ.

2-е изданіе,

ПЕРЕСМОТРѢННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Товарищества „Общественная Польза“, Большая Подъяческая, № 39.

1886.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 1 Октября 1886

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Стран.

Лекція V.

Лекція VI

Лекція VII.

Лекція VIII.

Лекція IX.

Лекція X.

Лекція XI.

Лекція XII.

Лекція XIII.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ ПЕРВОМУ ИЗДАНІЮ.

Широкое развитіе, которое получило за послѣдніе годы ученіе объ электричествѣ и его примѣненіяхъ, выразившееся важными усовершенствованіями по телеграфіи и такими изобрѣтеніями, какъ телефонъ, динамоэлектрическая машина и проч., возбудило живѣйшій интересъ публики и желаніе ознакомиться съ электрическими явленіями и приборами поближе и въ популярномъ изложеніи: желаніе понятное, когда электрическое освѣщеніе, телефонія, передача и распредѣленіе энергіи на разстояніе ежедневно пріобрѣтаютъ большее и большее значеніе и въ недалекомъ будущемъ сдѣлаются важными факторами въ обыденной жизни всякаго. Явнымъ выраженіемъ этого желанія служитъ успѣхъ всемірныхъ электрическихъ выставокъ въ Парижѣ, Мюнхенѣ и Вѣнѣ, большое число популярныхъ сочиненій и то сочувствіе, которое повсюду встрѣчаютъ публичныя лекціи объ электричествѣ.

Главная цѣль, къ которой я стремился при составленіи лекцій, предлагаемыхъ теперь на судъ публики — представить въ возможно общепонятной формѣ, доступной не спеціально-подготовленнымъ лицамъ, и притомъ строго научно, главныя основанія ученія объ электричествѣ и его примѣненіяхъ. Я не имѣлъ въ виду спеціалистовъ, учащихся, студентовъ — но публику, интересующуюся великими вопросами дня, къ которымъ, несомнѣнно, принадлежитъ вопросъ о примѣненіи электрическихъ явленій къ обыденной жизни.

Зимою 1881 — 82 г. я прочелъ рядъ публичныхъ лекцій въ Императорскомъ Русскомъ Техническомъ Обществѣ (въ зданіи бывшаго Солянаго Городка) и затѣмъ зимою 1882—83 г., приблизительно въ томъ же объемѣ, гг. служащимъ въ Телеграфномъ Департаментѣ. А. И. Садовскій любезно взялъ на себя большой трудъ приготовленія и производства опытовъ во время всѣхъ этихъ лекцій, такъ что я могъ широко пользоваться его замѣчательнымъ умѣньемъ экспериментировать. Стенографированіе лекцій производилось г-мъ Маркузе. Значительно обработанныя, онѣ печатались въ „Телеграфномъ Сборникѣ“ и теперь составляютъ содержаніе настоящей книги.

Считаю долгомъ выразить глубокую благодарность Телеграфному Департаменту, въ лицѣ представителя Директора Телеграфовъ Н. А. Безака, за предложенie помѣстить лекцiи въ „Телеграфномъ Сборникѣ“ и редактору сего послѣдняго Н. Е. Славинскому, неустанно помогавшему мнѣ въ данномъ случаѣ добрыми совѣтами. Такую же горячую благодарность считаю долгомъ выразить С. Н. Степанову, И. И. Билибину, Н. П. Булыгину и Е. П Тверитинову за любезное одолженie мнѣ многочисленныхъ и дорого стоющихъ клише рисунковъ.

Первый рядъ публичныхъ лекцiй, читанныхъ мною, возникъ по почину и при широкомъ и многостороннемъ содѣйствiи членовъ *Шестаго Отдѣла Императорскаго Русскаго Техническаго Общества*, что̀ и заставило меня просить Отдѣлъ благосклонно принять посвященie ему этихъ лекцiй.

Упоминая о частностяхъ, позволяю себѣ обратить вниманie читателей на главу о физiологическихъ дѣйствiяхъ тока, которымъ посвящено довольно обширное мѣсто, и на особенно подробный разборъ всевозможныхъ формъ элемента Данiэля, который я привелъ съ цѣлью показать, до какой степени разнообразно можетъ быть практически выполнена опредѣленная теоретическая идея

Встрѣчающiяся въ немногихъ мѣстахъ вычисленiя (приложенiя закона Ома) могутъ быть пропущены безъ ущерба пониманiю въ послѣдующемъ.

Необходимость раздѣлить матерiалъ на лекцiи приблизительно одинаковаго объема заставила меня въ нѣкоторыхъ мѣстахъ отступить отъ вполнѣ рацiональной группировки матерiала. Желающимъ болѣе твердо и подробно усвоить себѣ ученie объ электричествѣ и его примѣненiяхъ рѣшаюсь рекомендовать книги:

Е. Госпиталье. „Главнѣйшiя приложенiя электричества“, переводъ С. Степанова, С.-ПБ. *).

Сильванусъ-Томпсонъ. „Электричество и магнитизмъ“, переводъ Ѳ. Капустина и В. Струве, изданie И. И. Билибина, С.-ПБ., 1883 г.;

Е. Тверитиновъ. „Электрическое освѣщенie“, С.-ПБ., 1883 г.,

Н. Писаревскiй. „Электрическiя измѣренiя“, С.-ПБ. 1882 г.: „Телефоны“, С.-ПБ., 1882 г., и др.

О. Хвольсонъ.

С.-Петербургъ,
14 Декабря 1883 г.

---

*) Въ 1885 г. вышло 2-е значит. дополненное изданie.

ПРЕДИСЛОВІЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНІЮ.

Второе изданіе моихъ „Популярныхъ лекцій" весьма существенно отличается отъ перваго, въ особенности по отношенію къ помѣщеннымъ въ книгѣ рисункамъ. Получивъ разрѣшеніе пользоваться клише, принадлежащими Главному Управленію Почтъ и Телеграфовъ, я могъ къ нимъ прибавить весьма большое число другихъ, любезно предоставленныхъ въ мое распоряженіе Н. Г. Писаревскимъ и лицами, переименованными въ предисловіи къ первому изданію. Кромѣ того, Ф. Ѳ. Павленковъ разрѣшилъ мнѣ пользоваться гальванопластическими клише рисунковъ, вошедшихъ въ недавно изданную имъ книгу „Электричество и магнитизмъ" Гано и Манёврье. Все это дало мнѣ возможность весьма значительно измѣнить иллюстраціи въ книгѣ: прибавлено болѣе сорока новыхъ рисунковъ и большое число старыхъ замѣнены новыми, лучшими.

Въ текстѣ сдѣлано значительное число измѣненій; на необходимость многихъ изъ нихъ любезно указали мнѣ К. Д. Краевичъ, Н. П. Булыгинъ, г. С. С. (въ журналѣ „Электричество") и А. И. Садовскій. Кромѣ того, добавлено въ этомъ изданіи разсмотрѣніе слѣдующихъ вопросовъ и приборовъ: электростатическая теорія Эдлунда (методъ изложенія принадлежитъ А. И. Садовскому), термометръ Рисса, электрометръ Пельтье, реостатъ Витстона, вольтметръ Томсона, тангенсъ-гальванометръ Гогена, синусъ-гальванометръ Сименса, рефлекторъ Манжена, подъемная батарея Бунзена, элементъ Лаланда, спираль Ричи, индукторъ Марсель Депре, самовозбуждающаяся машина Грамма, машина Гордона, автоматическій телеграфъ Витстона, телефонъ Охоровича, фонофоръ Вредена, система Риссельберге одновременнаго телеграфированія и телефонированія по одной и той-же проволокѣ и пр.

О. Хвольсонъ.

С.-Петербургъ,
1 Октября 1885 г.

ИЗДАНІЯ Ф. ПАВЛЕНКОВА.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВѢЩЕНІЕ въ примѣненіи къ жизни и военному искусству. Составилъ *В. Чиколевъ*. Спб. 1886 г. Около 150 рисунковъ. **Цѣна 2 р.**

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНИТИЗМЪ. Составили *А. Гано* и *Ж. Маневрье*. Переводъ *Ф. Павленкова*, *В. Черкасова* и *С. Степанова* (изъ «Полн. Курса Физики» Гано). Спб. 1885 г. Около 300 стр. съ 340 рис. **Цѣна 1 р. 50 к.**

СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКѢ. *В. Чиколева.* **Цѣна 75 к.**

ПОПУЛЯРНАЯ ХИМІЯ. *Н. Вальберха* и *Ф. Павленкова.* 2-е изд. **Ц. 40 к.**

УЧЕБНИКЪ ХИМІИ. Въ объемѣ курса реальныхъ училищъ. Составилъ *А. Альмедингенъ.* Спб. 1885 г. Съ 96 рис. и сборник. 140 хим. зад. и вопр. **Ц. 2 р.**

ПОПУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. *А. Гано.* Перевелъ съ франц. *Ф. Павленковъ*, 3-е изданіе. Съ 604 рис. и 200 вопросами. **Цѣна 2 руб.**

ПОПУЛЯРНЫЯ ЛЕКЦІИ ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ И МАГНИТИЗМѢ. Д-ра физики *О. Хвольсона.* Съ 220 рис. Спб. 1886 г. 2-е изданіе. **Цѣна 2 р.**

ГЛАВНѢЙШІЯ ПРИЛОЖЕНІЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА *Э. Госпиталье.* Переводъ *С. Степанова*, редактора журнала «Электричество», со множествомъ рисунковъ. Спб. 1886 г. 2-е доп. изданіе **Ц. 3 р.** (Вышло въ ноябрѣ).

ПОЛНЫЙ КУРСЪ ФИЗИКИ *А. Гано.* Переводъ *Ф. Павленкова* и *В. Черкасова.* 6-е изд. Съ 1232 рисунками, 2-мя раскраш. таблицами спектровъ, 170 задачами, обзоромъ метеоролог. явленій и краткимъ очеркомъ химіи. **Цѣна 4 руб.**

ЧТО СДѢЛАЛЪ ДЛЯ НАУКИ Ч. ДАРВИНЪ? Популярный обзоръ его трудовъ, составленный *Гексли*, *Гейки*, *Дайеромъ* и *Романесомъ*. Съ портретомъ Дарвина, гравир. на стали. Перев. *Г. Лопатина.* **Цѣна 75 к.**

ОБЩЕПОНЯТНАЯ ГЕОМЕТРІЯ, *В. Потоцкаго.* Съ 143 черт. и 204 зад. **Ц. 40 к.**

ЧАСТНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ДІАГНОСТИКА. Руководство для практическихъ врачей. Составилъ профессоръ *Да-Коста.* Перевелъ съ нѣмецкаго, по рекомендаціи проф. *В. Манасеина*, д-ръ *Д. Фридбергъ.* 704 стр. съ 43-мя рис. **Ц. 3 р. 50 к.**

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АНАТОМІЯ, ФИЗІОЛОГІЯ И ГИГІЕНА. *М. Герасимова.* Съ необходимыми свѣдѣніями относительно поданія первой помощи въ несчастныхъ случаяхъ. 2-е изданіе съ 65 рисун. **Цѣна 75 к.**

ПСИХОЛОГІЯ ВЕЛИКИХЪ ЛЮДЕЙ. Профессора *Г. Жоли.* **Цѣна 1 р. 25 к.**

РОЛЬ ОБЩЕСТВЕННАГО МНѢНІЯ ВЪ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЖИЗНИ. *Ф. Гольцендорфа.* **Ц. 75 к.**

НАШИ ОФИЦЕРСКІЕ СУДЫ. *Ф. Павленкова.* **Цѣна 35 к**

ЗЕМСКАЯ СЛУЖБА. Бесѣды гласнаго крестьянина Акима Простоты. Состав. *Н. Блиновъ.* Книга эта знакомитъ съ основами зем. самоуправленія. **Ц. 50 к.**

СЕЛЬСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ СЛУЖБА. Бесѣды старости-крестьянина Акима Простоты. Составилъ *Н. Блиновъ.* 210 стр. **Цѣна 50 к.**

ЗАКОНЫ О ГРАЖДАНСКИХЪ ДОГОВОРАХЪ, общепонятно изложенные и объясненные, съ приложеніемъ образцовъ всякаго рода договоровъ. Составилъ *В. Фармаковскій.* Изданіе 4-е дополненное. Спб. 1884 г. **Ц. 1 р. 25 к.**

НАЧАЛЬНЫЙ КУРСЪ ГЕОГРАФІИ. *Корнеля.* 11-е дополненное изданіе, съ 10-ю раскрашенными картами и 82 политипажами. Спб. 1883 г. **Цѣна 1 р. 25 к.**

ХЛѢБНЫЙ ЖУКЪ. Чтеніе для народа, съ 3 рис. *Барона Корфа.* **Ц. 10 к.**

КАКЪ ОБУЧАТЬ ГРАМОТѢ РЕБЯТЪ И ВЗРОСЛЫХЪ. *Н. А. Корфа.* **Ц. 10 к**

НАГЛЯДНАЯ АЗБУКА. (Чтеніе и письмо по картинкамъ). *Ф. Павленкова.* Азбука для обученія и самообученія грамотѣ по наглядно-звуковому способу, съ **800** рисунками и краткимъ наставленіемъ для учителя. **Ц. 20 к.**

ОБЪЯСНЕНІЕ КЪ «НАГЛЯДНОЙ АЗБУКѢ», или *подробное* наставленіе, какъ учить по «Наглядной азбукѣ», 6-е изданіе. **Цѣна 15 к.**

РОДНАЯ АЗБУКА. *Ф. Павленкова*, 5-е изданіе, 32 страницы съ **200** рисунками и наставленіемъ, какъ учить по этой азбукѣ. **Цѣна 5 к.**

АЗБУКА-КОПѢЙКА. *Ф. Павленкова.* 7-е изд., 12 стр. 100 рис. **Цѣна 1 к.**

НАГЛЯДНО ЗВУКОВЫЯ ПРОПИСИ:

1) КЪ «РОДНОМУ СЛОВУ» Ушинскаго (400 рис.). 3-е изд.	Составилъ
2) КЪ АЗБУКѢ БУНАКОВА (460 рис.). 2-изд.	
3) «ПЕРВОЙ УЧЕБНОЙ КНИЖКѢ» Паульсона (430 рис.).	*Ф. Павленковъ.*
4) КЪ «РУССКОЙ АЗБУКѢ» Водовозова (470 рис.).	
5) ОБЩІЯ НАГЛ.-ЗВУК. ПРОПИСИ (къ др. азбукамъ 463 р.)	**Ц. каждой книжки 8 к.**

НАШЪ ДРУГЪ. Книга для чтенія въ школѣ и дома. Составилъ *Баронъ Н. А. Корфъ.* 13-е изданіе, съ 227 рисун. и портретами. **Цѣна 75 коп.**

О СПОСОБАХЪ ОБУЧЕНІЯ ВЪ СЕМЬѢ И ШКОЛѢ. Составилъ *Н. Блиновъ.* 3-е значительно допол. изданіе со многими рис. въ текстѣ. **Цѣна 40 к.**

РУКОВОДИТЕЛЬ ДЛЯ ВОСКРЕСНЫХЪ ПОВТОРИТЕЛЬНЫХЪ ШКОЛЪ. Составилъ *Баронъ Н. А. Корфъ.* **Цѣна 50 коп.**

(См. продолженіе списка на стр. 252).

ЛЕКЦІЯ I.

О гипотезахъ вообще. Простѣйшія электрическія явленія. Электрическая индукція.

Въ древніе и средніе вѣка, до временъ Галилея, природа изучалась почти только наблюденіемъ, т. е. созерцаніемъ явленій, какъ они происходятъ сами по себѣ и независимо отъ насъ. Лишь съ XVI столѣтія является, какъ могущественный двигатель нашихъ познаній о явленіяхъ природы—*опытъ*, т. е. изслѣдованіе явленія, какъ оно происходитъ при новой, нами устроенной обстановкѣ, опытъ, дающій отвѣтъ на вопросъ, что будетъ, если подвергнуть тѣла особымъ дѣйствіямъ, подъ вліяніемъ которыхъ они раньше не наблюдались

Съ теченіемъ времени, наблюденіе и опытъ познакомили ученыхъ съ огромнымъ количествомъ явленій и давно уже обнаружилось, что всѣ они могутъ быть раздѣлены на группы явленій, очевидно имѣющихъ между собою нѣкоторую связь и представляющихъ какъ бы разныя проявленія одной и той же основной причины. Такимъ образомъ физика раздѣлилась на отдѣлы, возникли ученія о *теплотѣ*, *звукѣ*, *свѣтѣ*, *магнитизмѣ*, *электричествѣ*, *тяжести* и т. д.

Умственная работа, сопровождавшая эти изслѣдованія, и важный ея помощникъ—математическій анализъ, приводили, мало по малу, къ распознанію характера основной причины цѣлой группы разсматриваемыхъ явленій. Предположенія о сущности этой основной причины группы явленій называются *гипотезами*.

При разработкѣ различныхъ отдѣловъ физики приходилось вырабатывать не мало гипотезъ, но особенно огромное число ихъ было придумано для объясненія явленій магнитизма и электричества. Поэтому, намъ необходимо нѣсколько ближе познакомиться съ характеромъ гипотезъ вообще и особенно такихъ, которыя мы имѣемъ право назвать хорошими гипотезами, которыя намъ кажутся правдоподобными, болѣе или менѣе вѣроятными, удовлетворяющими любознательность и стремленіе распознать природу.

Критическій разборъ многочисленныхъ гипотезъ и той пользы, которую онѣ принесли физикѣ, приводитъ насъ къ убѣжденію, что всякая хорошая гипотеза должна обладать тремя свойствами: она должна быть *проста*, *обширна* и *способна предсказать явленія.*

Гипотеза должна быть *проста*. Внутреннее убѣжденіе подсказываетъ намъ, что основная причина явленій природы проста. Этому не противорѣчитъ сложность замѣчаемыхъ нами явленій. Мы неоднократно убѣждаемся, что весьма простыя основныя причины могутъ имѣть чрезвычайно сложныя послѣдствія. Тѣла притягиваются по весьма простому закону Ньютона: притяженіе обратно пропорціонально квадрату разстояній и прямо пропорціонально произведенію притягивающихся массъ. Не смотря на простоту этого закона, движеніе двухъ взаимно притягивающихся тѣлъ представляется уже чрезвычайно сложнымъ, движеніе же трехъ тѣлъ, взаимно притягивающихся по закону Ньютона, представляется уже столь сложнымъ и запутаннымъ, что до сихъ поръ ни одинъ изъ величайшихъ математиковъ, занимавшихся этою задачею, не могъ всесторонне изслѣдовать движенія такихъ трехъ тѣлъ (problème des trois corps). Отсюда заключаемъ, что и, наоборотъ, весьма сложныя явленія могутъ вытекать изъ весьма простыхъ началъ. Итакъ, всякая гипотеза должна быть проста; сложную гипотезу мы никогда не назовемъ хорошею гипотезою, она никогда не покажется намъ удовлетворительною и правдоподобною.

Гипотеза должна быть *обширна*, т. е. она должна одновременно объяснять весьма большое число различныхъ явленій. Понятно, что если мы для всякаго отдѣльнаго явленія придумаемъ особую гипотезу, то такое объясненіе явленій никогда не покажется намъ удовлетворительнымъ. Гипотеза должна *предсказать явленія*, т. е. она должна всесторонне отвѣчать на вопросъ: что произойдетъ, если мы придумаемъ новую, еще не изслѣдованную обстановку, при которой мы заставимъ происходить явленіе. Въ нѣкоторыхъ, весьма немногихъ, исключительныхъ случаяхъ, когда гипотеза безошибочно вѣрно предсказала безчисленную массу явленій, она почти перестала быть гипотезою, превращаясь въ почти полную достовѣрность. Примѣромъ можетъ служить гипотеза Коперника о строеніи солнечной системы.

Исторія физики учитъ насъ, что весьма часто двѣ и болѣе гипотезъ одновременно удовлетворяли всѣмъ вышеупомянутымъ требованіямъ; онѣ обѣ были просты, обѣ обширны и обѣ одинаково безошибочно предсказывали явленія. Въ такомъ случаѣ возгаралась, иногда весьма ожесточенная и продолжительная, борьба между приверженцами этихъ гипотезъ. Разрѣшеніе борьбы въ пользу одной изъ нихъ тогда только становилось возможнымъ, когда открывались новыя явленія, которыя одною гипотезою объяснялись проще (т. е. безъ натяжекъ), чѣмъ другою, или которыхъ одна изъ гипотезъ вовсе объяснить не могла. При-

мѣромъ можетъ служить борьба между двумя теоріями свѣта, теоріею истеченія и теоріею колебанія. Первая, основанная Ньютономъ, предполагаетъ, что свѣтящееся тѣло испускаетъ изъ себя особое свѣтовое вещество, которое, двигаясь съ огромною скоростію въ пространствѣ, проходитъ черезъ прозрачныя тѣла, отскакиваетъ отъ зеркалъ и т. д. Прямыя линіи, по которымъ движутся частицы этого вещества, названнаго свѣтовымъ эфиромъ, и суть свѣтовые лучи. Вторая гипотеза, основанная Гюйгенсомъ, предполагаетъ, что все междузвѣздное пространство, а также большинство тѣлъ, наполнены особымъ, чрезвычайно тонкимъ и очень упругимъ веществомъ, состоящимъ изъ отдѣльныхъ частичекъ, веществомъ, которое мы можемъ также назвать свѣтовымъ эфиромъ.

Внутри свѣтящихся тѣлъ частицы этого эфира приходятъ въ быстрое колебательное движеніе, которое передается сосѣднимъ эфирнымъ частицамъ и распространяется въ эфирной средѣ, все далѣе и далѣе, подобно тому, какъ колебательное движеніе на поверхности воды, приведенной въ движеніе, распространяется во всѣ стороны; прямыя линіи, по которымъ происходитъ распространеніе этого колебательнаго движенія свѣтоваго эфира, суть свѣтовые лучи. Обѣ эти гипотезы одинаково точно объясняютъ всѣ свѣтовыя явленія, которыя были извѣстны въ прошломъ столѣтіи: отраженіе, преломленіе и т. д.

Въ началѣ этого столѣтія борьба между двумя гипотезами усилилась послѣ того, какъ былъ открытъ цѣлый рядъ новыхъ, до того невѣдомыхъ оптическихъ явленій: *двойное лучепреломленіе*, состоящее въ томъ, что лучъ свѣта, проходя черезъ нѣкоторыя кристаллическія тѣла, напр. исландскій шпатъ, раздваивается на два луча; *интерференція свѣта*, состоящая въ томъ, что, при встрѣчѣ двухъ лучей въ одной и той же точкѣ, можетъ, при нѣкоторыхъ условіяхъ, произойти взаимное ихъ уничтоженіе, т. е. темнота; *диффракція свѣта*—что во многихъ случаяхъ свѣтъ распространяется не по прямой, но какъ бы по ломанной линіи; *поляризація свѣта*, состоящая въ томъ, что лучи, прошедшіе черезъ нѣкоторыя тѣла, получаютъ какъ бы нѣкоторую сторонность, такъ что они въ одномъ случаѣ могутъ пройти черезъ подобныя же тѣла, но, повернутые на прямой уголъ, теряютъ эту способность.

Всѣ эти явленія безъ натяжекъ объясняла теорія колебанія эфира, но лишь съ весьма большимъ трудомъ объясняла теорія истеченія.

Борьба кончилась, когда, наконецъ, было открыто явленіе, которое одна гипотеза предсказывала такъ, а другая иначе. По теоріи истеченія, свѣтъ долженъ былъ въ водѣ распространяться быстрѣе, чѣмъ въ воздухѣ; теорія же колебанія эфира предсказывала, что свѣтъ въ водѣ долженъ распространяться медленнѣе, чѣмъ въ воздухѣ. Французскому физику Фуко удалось произвести опытъ, ясно доказавшій, что въ водѣ свѣтъ распространяется медленнѣе, чѣмъ въ воздухѣ, и тѣмъ былъ

окончательно данъ перевѣсъ гипотезѣ колебанія эфира. Торжество последней усилилось, когда она дала возможность предсказать совершенно новыя оптическія явленія, о возможности которыхъ a priori нельзя было и думать.

Англійскій математикъ Гамильтонъ, не дѣлая никакихъ опытовъ, однимъ только математическимъ изслѣдованіемъ нашелъ, что если свѣтовые лучи, въ совершенно опредѣленномъ направленіи, пройдутъ черезъ кристаллъ опредѣленнаго рода, то изъ этого кристалла долженъ выйдти цилиндръ лучей, который на листѣ бумаги оставитъ слѣдъ не въ видѣ пятна, но въ видѣ свѣтлаго кольца. Опытъ подтвердилъ это предсказаніе, и такимъ путемъ было открыто новое оптическое явленіе, названное *коническою рефракціею*.

Упомянутое разногласіе между двумя гипотезами и опытное его разрѣшеніе знаменитымъ Фуко представляетъ для ученія о свѣтѣ, такъ сказать, большое счастіе: оно прекратило многолѣтнюю борьбу двухъ гипотезъ.

Для объясненія магнитныхъ и электрическихъ явленій существуетъ огромное количество гипотезъ, которыя до сихъ поръ одинаково хорошо объясняютъ извѣстныя уже явленія и одинаково безошибочно въ состояніи предсказать результаты многихъ новыхъ опытовъ; къ несчастію, до сихъ поръ еще не найдены такіе случаи, для которыхъ разныя гипотезы предсказали бы форму явленій неодинаково, такъ что нѣтъ возможности, посредствомъ опыта, дать перевѣсъ одной изъ этихъ гипотезъ, доказать, что она болѣе вѣроятна, чѣмъ другая.

Изслѣдованія магнитныхъ и электрическихъ явленій познакомили насъ съ огромнымъ числомъ явленій; они изучены такъ подробно и законы ихъ такъ точно извѣстны, что мы безошибочно можемъ, качественно и количественно, предсказать многія явленія. Мы можемъ въ каждый моментъ возбудить эти явленія и воспользоваться ими. Но основная сущность ихъ до сихъ поръ не разгадана. Въ нѣкоторомъ смыслѣ можно сказать, что мы относимся къ этимъ явленіямъ подобно тому, какъ въ весьма недавнее время мы относились къ явленіямъ тепловымъ. Мы знали, какъ возбудить теплоту, и пользовались непрерывно ея дѣйствіями, но вопросъ о сущности теплоты оставался при этомъ въ сторонѣ.

Простѣйшія электрическія явленія заключаются въ слѣдующемъ. При натираніи многія тѣла получаютъ свойства, которыхъ они прежде не имѣли, а именно:

1) способность притягивать легкія тѣла;

2) способность приводить другія тѣла въ то же состояніе, въ которомъ они сами находятся и

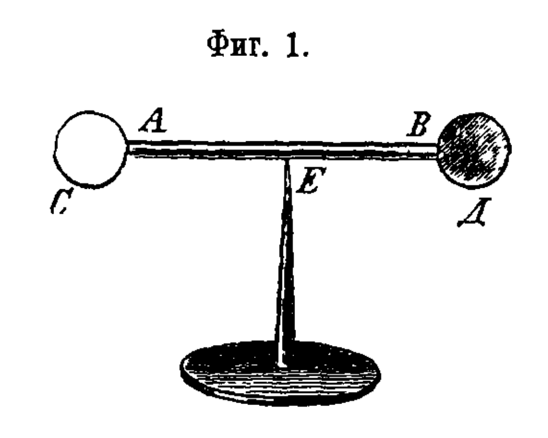
3) способность давать искры.

Если тѣло получаетъ свойства, которыхъ оно прежде не имѣло,

то такое явленіе должно имѣть причину. Мы называемъ неизвѣстную причину этого новаго состоянія тѣла—*электричествомъ*, а самое тѣло—*наэлектризованнымъ*. При этомъ мы оставляемъ совершенно въ сторонѣ вопросъ, будетъ ли электричество особымъ веществомъ, появившимся на тѣлѣ при его натираніи, или только особымъ состояніемъ, подобно теплотѣ.

Нѣкоторыя тѣла, при натираніи, электризуются весьма сильно, какъ напр. стекло, каучукъ, смола и т. д. При изслѣдованіи дѣйствія наэлектризованныхъ тѣлъ пользуются весьма удобнымъ приборомъ, состоящимъ (фиг. 1) изъ горизонтальнаго стержня *AB*, вращающагося на остріи *E*; къ его концамъ придѣланы стеклянная пластинка *C* и каучуковая *Д*. Если ихъ натереть и затѣмъ приблизить къ нимъ стеклянныя или каучуковыя пластинки, также натертыя, то окажется, что натертое стекло и натертый каучукъ взаимно притягиваются, натертый каучукъ и натертый каучукъ, а также натертое стекло и натертое стекло взаимно отталкиваются. Отсюда мы заключаемъ, что натертое стекло и натертый каучукъ находятся въ неодинаковыхъ состояніяхъ, такъ какъ они неодинаково дѣйствуютъ на одно и то же тѣло (натертое стекло); такимъ образомъ появляется понятіе о *разнородныхъ электрическихъ состояніяхъ*.

Фиг. 1.



Оказывается, что при натираніи всѣ тѣла приходятъ или въ то состояніе, въ которомъ находится натертое стекло, или въ то, въ которомъ находится натертый каучукъ.

Отсюда мы заключаемъ, что *существуютъ только два разнородныхъ электрическихъ состоянія*.

Общепринято говорить, что стекло, при натираніи, электризуется положительно, или что на немъ находится *положительное* (+) электричество, на каучукѣ — *отрицательное* (—). Не слѣдуетъ впрочемъ думать, что мы при этомъ непремѣнно имѣемъ дѣло съ двумя существенно различными основными причинами. Положительное и отрицательное электричества могутъ быть не болѣе, какъ два противуположныя проявленія одного и того же основнаго начала, подобно тому, какъ теплота и холодъ, представляющіеся намъ какъ два проявленія другъ другу противуположныя, въ сущности коренятся въ одномъ и томъ же основномъ началѣ.

При треніи одного тѣла о другое, всегда электризуются оба тѣла, и притомъ всегда одно положительно, а другое отрицательно, и всегда одинаково сильно. Одно и то же тѣло можетъ электризоваться поло-

жительно, будучи натерто однимъ тѣломъ, отрицательно — будучи натерто другимъ.

Всѣ тѣла можно распредѣлить въ такъ называемый электрическій рядъ, въ которомъ каждое тѣло электризуется положительно, если оно натирается тѣломъ ниже стоящимъ въ этомъ ряду, и отрицательно, если оно натирается тѣломъ, выше стоящимъ.

Для объясненія электрическихъ явленій существуютъ двѣ основныя гипотезы: *гипотеза дуалистическая* и *гипотеза унитарная*.

Гипотеза дуалистическая предполагаетъ существованіе въ мірѣ двухъ различныхъ, весьма легкоподвижныхъ и упругихъ веществъ, называемыхъ положительнымъ и отрицательнымъ электричествами; одноименныя эти вещества взаимно отталкиваются, разноименныя притягиваются; смѣсь двухъ разноименныхъ электричествъ, называемая нейтральнымъ электричествомъ, не производитъ внѣшняго дѣйствія. Всѣ тѣла заключаютъ въ себѣ огромный запасъ этой нейтральной смѣси обѣихъ электрическихъ жидкостей.

Унитарная гипотеза предполагаетъ существованіе одного только особаго вещества, служащаго причиною всѣхъ электрическихъ явленій. Предполагается, что это вещество наполняетъ все пространство, проникая чрезъ всѣ тѣла.

Тѣла, содержащія опредѣленное, на ихъ долю приходящееся количество этого вещества, находятся въ нейтральномъ, обыкновенномъ состояніи и ничѣмъ не отличаются отъ окружающихъ тѣлъ; тѣла, содержащія избытокъ этого вещества, проявляютъ особыя дѣйствія и представляются намъ наэлектризованными. Тѣла же, въ которыхъ недочетъ этого вещества, представляются намъ въ другомъ наэлектризованномъ состояніи

Въ первомъ случаѣ напр. они кажутся намъ наэлектризованными положительно, во второмъ случаѣ—отрицательно.

Частицы этого вещества взаимно отталкиваются.

Термины, употребляемые въ ученіи объ электричествѣ, основаны на предположеніи, что электричество есть вещество легкоподвижное, распространяющееся, переходящее отъ одного тѣла къ другому; необходимо удержать эти термины, вообще весьма удачно характеризующіе *внѣшнюю сторону* электрическихъ явленій; можетъ быть, современемъ придется измѣнить ихъ, сообразно новому взгляду на сущность электрическихъ явленій.

Электризація при натираніи объясняется дуалистическою гипотезою предположеніемъ, что въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ касаются другъ друга трущіяся тѣла, происходитъ *разложеніе* нейтральнаго электричества, причемъ положительное электричество переходитъ на одно тѣло, отрицательное на другое. Унитарная же гипотеза полагаетъ, что при нати-

раніи электрическое вещество переходитъ отъ одного тѣла къ другому, вслѣдствіе чего на одномъ появляется избытокъ на другомъ недочетъ.

Если наэлектризованное тѣло привести въ соприкосновеніе съ другимъ тѣломъ, то это послѣднее также электризуется, электричество какъ бы передается, при соприкосновеніи, отъ одного тѣла къ другому.

Этимъ объясняется, отчего легкое тѣло, притянутое хотя бы натертымъ стекломъ, послѣ соприкосновенія со стекломъ отталкивается. При соприкосновеніи оно наэлектризовалось одноименнымъ электричествомъ, и вслѣдствіе этого между стекломъ и легкимъ тѣломъ обнаружилось отталкиваніе. Два бузинныхъ шарика, рядомъ повѣшенные и приведенные въ соприкосновеніе съ натертымъ стекломъ, послѣ этого взаимно отталкиваются.

Передача электрическаго состоянія отъ одного тѣла къ сосѣднему не должна заставлять насъ думать, что при этомъ непремѣнно имѣетъ мѣсто дѣйствительный переходъ какого нибудь вещественнаго агента отъ одного тѣла къ другому. Пояснимъ это примѣромъ. Когда движущееся тѣло ударяетъ о другое неподвижное, то это послѣднее можетъ прійдти въ движеніе; скорость движенія перваго тѣла въ такомъ случаѣ уменьшается. Мы вправѣ говорить, что первое тѣло передало часть своего движенія второму, но, конечно, тутъ и рѣчи не можетъ быть о передачѣ отъ одного тѣла къ другому какого либо вещества. Нѣчто подобное происходитъ при переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому; мы знаемъ, что теплота не есть вещество, что это есть состояніе быстраго движенія частицъ тѣла. При переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому, мы имѣемъ дѣло только съ передачею движенія отъ однѣхъ частицъ къ другимъ.

Очень можетъ быть, что и при распространеніи электрическаго состоянія отъ одного тѣла къ сосѣднему мы также не имѣемъ дѣла съ переходомъ особеннаго вещественнаго агента, а только съ распространеніемъ отъ одного тѣла къ другому особаго состоянія матеріальныхъ частицъ тѣла или наполняющаго его гипотетическаго электрическаго эфира, который, можетъ быть, тождественъ съ эфиромъ свѣтовымъ.

Существуютъ тѣла, чрезъ которыя электрическое состояніе передается съ огромною быстротою. Такія тѣла называются *проводниками* электричества.

Чрезъ другія тѣла это распространеніе происходитъ довольно медленно, и, наконецъ, существуютъ многія тѣла, чрезъ которыя электрическое состояніе почти вовсе не можетъ передаваться съ мѣста на мѣсто. Такія тѣла называются *непроводниками* электрпчества или *изоляторами*. Къ проводникамъ электричества относятся, прежде всего, металлы, въ особенности серебро и мѣдь.

Жидкости, кромѣ ртути, вообще весьма плохіе проводники электричества.

Къ наиболѣе плохимъ проводникамъ принадлежатъ: стекло, каучукъ, алмазъ, сѣра, фосфоръ, смола, дерево, чистая вода, сухія газообразныя тѣла и т. д. Подкисленная вода проводитъ лучше чистой.

Если наэлектризованный проводникъ соединить проводниками съ землею, то электрическое состояніе мгновенно исчезаетъ, или, какъ принято говорить, электричество уходитъ въ землю. Чтобы сохранить проводники наэлектризованными, ихъ приходится отдѣлять отъ земли непроводниками, ставить на стеклянныя ножки, обматывать непроводящими электричество тканями и т. д. Такіе проводники называются изолированными.

Пламя почти мгновенно уничтожаетъ электрическое состояніе всякаго тѣла

Если привести въ соприкосновеніе два проводника, напримѣръ два металлическихъ изолированныхъ шара, наэлектризованныхъ разноименно и притомъ одинаково сильно, то оказывается, что электрическое состояніе обоихъ шаровъ исчезаетъ. Два разноименныя электричества взаимно уничтожаются. Если же одно изъ этихъ тѣлъ было наэлектризовано сильнѣе, чѣмъ другое, то останется распредѣленный на обоихъ тѣлахъ избытокъ одного изъ электричествъ. Нѣчто подобное мы замѣчаемъ, когда напримѣръ въ одинъ и тотъ же сосудъ сливаются жидкости холодная и горячая; получается смѣсь средняя, такъ сказать, ни холодная, ни горячая.

По дуалистической гипотезѣ мы предполагаемъ, что два электричества, взаимно притягиваясь и соединяясь, образуютъ нейтральную, недѣйствующую смѣсь.

По унитарной гипотезѣ одно изъ разсматриваемыхъ двухъ тѣлъ заключаетъ въ себѣ, какъ мы видѣли, избытокъ, а другое—недочетъ электрической жидкости; при соприкосновеніи избытокъ одного тѣла покрываетъ недочетъ другого и если оба тѣла были наэлектризованы одинаково сильно, т. е. избытокъ равнялся недочету, то, въ концѣ концовъ, оба тѣла находятся, понятно, въ обыкновенномъ, нейтральномъ состояніи.

Перейдемъ къ разсмотрѣнію одного изъ наиболѣе важныхъ и характерныхъ электрическихъ явленій, а именно *электрической индукціи.*

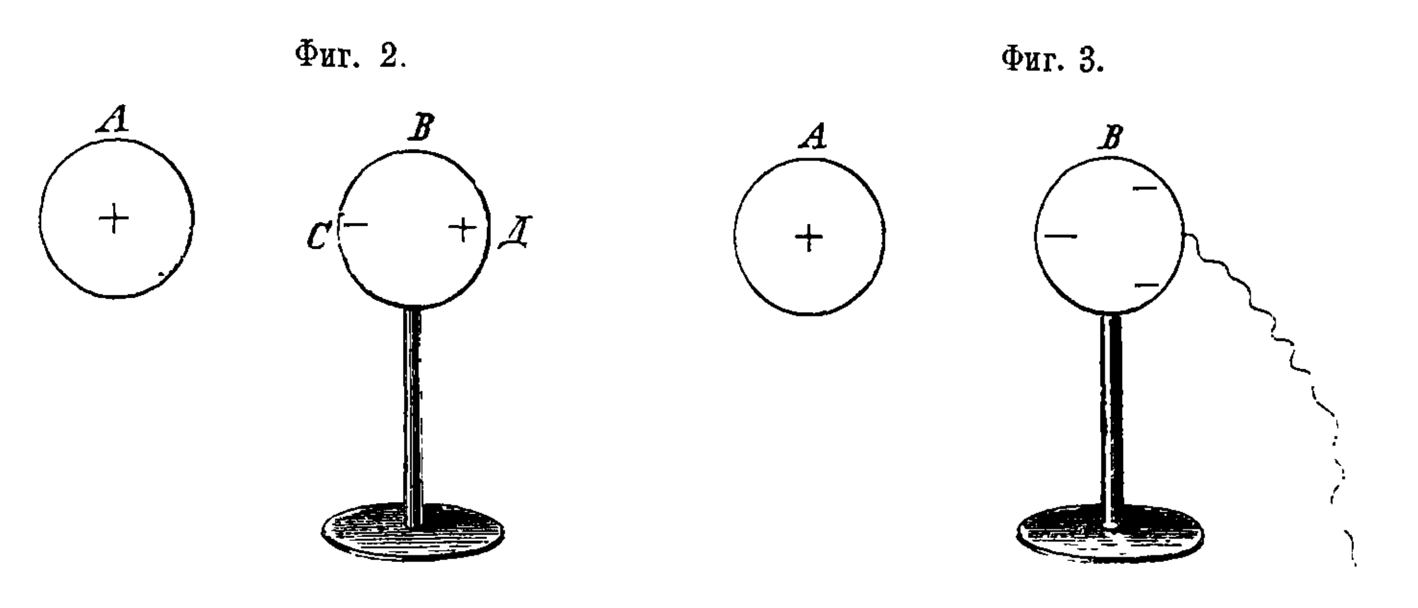
Если (фиг. 2) вблизи наэлектризованнаго (напр. положительно) тѣла *A* помѣстить изолированный проводникъ *B*, напримѣръ металлическій шаръ, то окажется, что и послѣдній приходитъ въ электрическое состояніе, хотя между двумя тѣлами не было никакого соприкосновенія.

Это возбужденіе электрическаго состоянія на разстояніи и называется электрическою индукціею; дѣйствующее электричество называется индуктирующимъ, а появляющееся на сосѣднемъ проводникѣ — индуктируемымъ.

Болѣе тщательное изслѣдованіе показываетъ, что на сосѣднемъ тѣлѣ *B* появляются оба электрическія состоянія; на сторонѣ *C*, обращенной къ

тѣлу индуктирующему, появляется электричество разноименное, на противуположной *Д* — одноименное съ электричествомъ индуктирующимъ.

Если тѣло *B* соединить съ землею (фиг. 3), прикасаясь, напримѣръ, къ нему рукою, то одноименное электричество уходитъ въ землю,

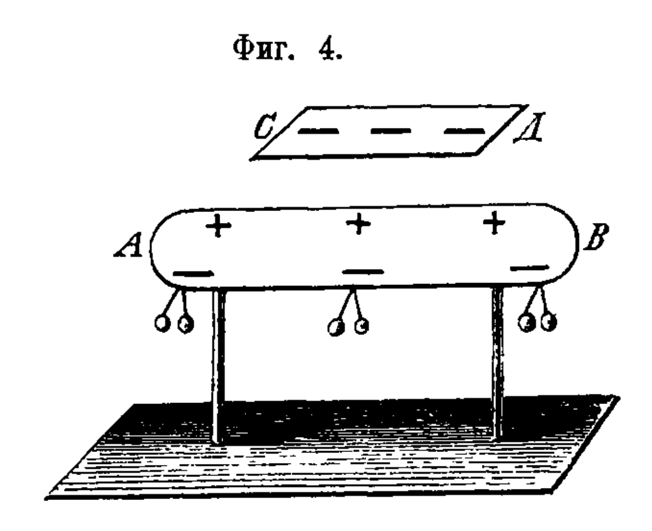


Фиг. 2. Фиг. 3.

а разноименное остается на немъ, удержанное притяженіемъ индуктирующаго электричества.

Если къ продолговатому металлическому изолированному тѣлу *AB* (фиг. 4), къ нижней сторонѣ котораго привѣшаны попарно на металлическихъ проволокахъ бузинные шарики, сверху приблизить наэлектризованное тѣло *СД*, напр. натертый каучукъ, то бузинные шарики расходятся; если затѣмъ удалить индуктирующій каучукъ, то бузинные шарики перестанутъ взаимно отталкиваться и примутъ прежнія положенія. Разнородныя электричества, индуктированныя на тѣлѣ *AB*, вновь соединяются.

Фиг. 4.



Если коснуться на мгновеніе пальцемъ къ тѣлу *AB* въ то время, какъ индуктирующій каучукъ находится надъ нимъ, то бузинные шарики перестанутъ взаимно отталкиваться, вслѣдствіе того, что отрицательное электричество ушло въ землю, а положительное, почти цѣликомъ, удержано на верхней сторонѣ тѣла *AB*. Если теперь удалить каучукъ, то бузинные шарики вновь расходятся вслѣдствіе того, что положительное электричество распространяется по всему тѣлу *AB*. Индукція проявляется и въ томъ случаѣ, если между индуктирующимъ тѣломъ и проводникомъ помѣстить пластинку изъ непроводника, напр. изъ стекла.

Для обнаруженія электрическаго состоянія тѣлъ служитъ *электро-*

скопъ, который состоитъ изъ стеклянной банки B (фиг. 5), широкое горло которой закрыто пробкою, чрезъ которую проходитъ металлическій стержень, снабженный на верху металлическимъ шарикомъ C; къ нижнему концу стержня привѣшаны два листочка сусальнаго золота n, n.

Фиг. 5.

Если къ электроскопу приблизить сверху наэлектризованное тѣло A, то листочки сусальнаго золота n, n взаимно отталкиваются вслѣдствіе того, что въ стержнѣ происходитъ индукція и одноименное электричество переходитъ въ листочки сусальнаго золота, которые, электризованные одноименно, взаимно отталкиваются.

Если наэлектризованное тѣло привести въ соприкосновеніе съ шарикомъ электроскопа C, то электричество непосредственно перейдетъ на стержень электроскопа и дойдетъ до листочковъ сусальнаго золота, которые и разойдутся.

Индукція объясняется по дуалистической гипотезѣ слѣдующимъ образомъ: индуктирующее электричество разлагаетъ нейтральное электричество въ проводникѣ, притягиваетъ къ себѣ разноименное и отталкиваетъ одноименное. Равновѣсіе наступаетъ тогда, когда взаимное притяженіе двухъ разнородныхъ электричествъ, собравшихся на проводникѣ, дѣлается равнымъ силѣ, съ которою индуктирующее электричество стремится притянуть одно изъ нихъ къ себѣ и оттолкнуть другое.

По унитарной гипотезѣ предполагается, что если на индуктирующемъ тѣлѣ A находится избытокъ электричества, то отталкивающее дѣйствіе на электричество въ проводникѣ B со стороны A (фиг. 2) будетъ больше, чѣмъ съ противуположной стороны, на которой находится среда, не содержащая избытка электричества. Вслѣдствіе этого часть электричества тѣла B переходитъ въ сторону противуположную отъ тѣла A. На сторонѣ, обращенной къ тѣлу A, образуется недочетъ, а на противуположной—избытокъ.

Если же на тѣлѣ A находится недочетъ электричества, то перевѣсъ будетъ на сторонѣ отталкивательной силы электричества, наполняющаго равномѣрную среду, находящуюся съ противуположной стороны отъ тѣла B. Вслѣдствіе этого на сторонѣ, обращенной къ тѣлу A, накопляется избытокъ, а съ противоположной стороны образуется недочетъ.

Если приблизить проводникъ B къ наэлектризованному тѣлу A, то нерѣдко между этими двумя тѣлами появляется искра, послѣ чего замѣчается уменьшеніе электричества на тѣлѣ A. Объясняется это явленіе слѣдующимъ образомъ: на приближенномъ проводникѣ B происходитъ индукція разноименныхъ электричествъ и притяженіе между ин-

дуктирующимъ электричествомъ и ближайшимъ съ нимъ, неодноименнымъ индуктируемымъ (см. фиг. 2); оно можетъ преодолѣть сопротивленіе слоя воздуха и оба электричества взаимно уничтожаются. Та полоса воздуха, внутри которой происходитъ это уничтоженіе, сильно нагрѣвается, свѣтится и представляется въ видѣ искры.

Чѣмъ сильнѣе проявляются электрическія свойства тѣлъ, тѣмъ больше, какъ принято говорить, находится на немъ электричества. Оставляя совершенно въ сторонѣ вопросъ о сущности электричества, мы легко можемъ дойти до представленія о *количествѣ электричества*. Понятно, напримѣръ, что два одинаковыхъ тѣла, одинаково наэлектризованныхъ, содержатъ вмѣстѣ вдвое болѣе электричества, чѣмъ каждое изъ нихъ. Мы имѣемъ право говорить о количествѣ электричества точно также, какъ продолжаемъ говорить о количествѣ теплоты, хотя знаемъ, что теплота не есть вещество.

Мы видѣли, что наэлектризованныя тѣла дѣйствуютъ другъ на друга. Сила взаимодѣйствія, т. е. отталкиванія или притяженія, не зависитъ *отъ вещества, изъ котораго состоятъ наэлектризованныя тѣла, а только* отъ количества электричества, на нихъ находящагося. Поэтому мы имѣемъ право выражаться такъ, какъ будто бы взаимно притягивались не наэлектризованныя тѣла, но самыя электричества, на нихъ находящіяся.

Опыты показали, что взаимное притяженіе или отталкиваніе двухъ наэлектризованныхъ тѣлъ пропорціонально произведенію количествъ электричества, находящихся на нихъ, и обратно пропорціонально квадрату разстоянія между тѣлами.

По дуалистической теоріи притяженіе или отталкиваніе наэлектризованныхъ тѣлъ объясняется непосредственнымъ допущеніемъ, что частицы одноименнаго электрическаго агента взаимно отталкиваются, а разноименныхъ—взаимно притягиваются. Гораздо труднѣе объясняется взаимодѣйствіе наэлектризованныхъ тѣлъ по унитарной системѣ, допускающей существованіе одного только электрическаго агента, частицы котораго взаимно отталкиваются. Постараемся изложить, какимъ образомъ Эдлундъ (1874 г.) объясняетъ это взаимодѣйствіе, вводя принципъ Архимеда.

Всѣмъ извѣстно, что вѣсъ тѣла, окруженнаго со всѣхъ сторонъ жидкою средою, уменьшается на столько, сколько вѣситъ объемъ жидкости, равный объему тѣла (законъ Архимеда). Вслѣдствіе этого тѣло, которое содержитъ больше массы, чѣмъ вытѣсненная жидкость, тонетъ, т. е. приближается къ центру притяженій, къ землѣ; тѣло же, содержащее меньше массы, чѣмъ вытѣсненная жидкость, удаляется отъ этого центра, всплываетъ. Если бы отъ земли исходили отталкивательныя силы, то явленіе происходило бы наоборотъ: болѣе тяжелыя тѣла, какъ болѣе сильно отталкиваемыя, всплывали-бы, а болѣе легкія тѣла шли-бы ко дну. Эфиръ, наполняющій вселенную, представляетъ однообразную среду; тѣло, наэлектризованное положительно, со-

держитъ (допустимъ—можетъ быть и наоборотъ) избытокъ эфира, т. е. больше окружающей среды; электризованное отрицательно содержитъ недочетъ, т. е. меньше окружающей среды. Вокругъ тѣла не наэлектризованнаго, никакія особенныя силы не проявляются, потому что силы, исходящія отъ эфира, содержащагося въ этомъ тѣлѣ, уравновѣшиваются силами, исходящими отъ эфира, наполняющаго все внѣшнее пространство.

Если же нѣкоторое тѣло А содержитъ недочетъ эфира (допустимъ, что это тогда, когда оно наэлектризовано отрицательно), то отталкивательное дѣйствіе внѣшняго пространства получаетъ перевѣсъ, вслѣдствіе чего вокругъ этого тѣла А силы, дѣйствующія на эфиръ, направлены къ самому тѣлу, подобно тому, какъ притягательныя силы вокругъ земли имѣютъ направленіе къ ней. Другое тѣло, содержащее избытокъ (электризованное положительно) будетъ «тонуть», т. е. приближаться къ тѣлу А, слѣд.— и + взаимно притягиваются; тѣло же, содержащее недочетъ и находящееся вблизи тѣла А, будетъ «всплывать», т. е. отъ него удаляться, слѣд. — и — отталкиваются. Допустимъ теперь, что тѣло А содержитъ избытокъ эфира, тогда около него являются силы, направленныя отъ него прочь (аналогично случаю, еслибъ земля отталкивала тѣла); тогда тѣло, содержащее избытокъ (какъ бы тяжелѣйшее окружающей среды) будетъ «всплывать», т. е. отъ него удаляться, слѣд. + и + взаимно отталкиваются; тѣло-же, содержащее недочетъ (какъ бы болѣе легкое, чѣмъ окружающая среда), будетъ «тонуть», т. е. къ нему приближаться, слѣд. + и — взаимно притягиваются. Такимъ образомъ объясняются всѣ случаи.

ЛЕКЦІЯ II.

Объясненіе притяженія легкихъ тѣлъ. Распредѣленіе электричества на проводникахъ. Электрическая тѣнь. Разсѣяніе электричества. Свойства остріевъ. Конденсаторъ и Лейденская банка. Діэлектрики и ихъ индуктивная способность. Разрядъ банки и его дѣйствія.

Въ первой лекціи было сказано, что, вслѣдствіе натиранія, нѣкоторыя тѣла приходятъ въ особое состояніе, обнаруживая свойства, которыхъ они до того не имѣли и причина появленія которыхъ неизвѣстна. Причину обнаруживающихся такимъ образомъ свойствъ и явленій назвали электричествомъ, а самыя тѣла, проявляющія эти свойства,—наэлектризованными. Мы видѣли также, что электрическое состояніе можетъ отъ одного тѣла какъ бы переходить къ другому, сосѣднему, при соприкосновеніи; что есть тѣла, чрезъ которыя электричество можетъ передаваться неимовѣрно быстро—такія тѣла мы назвали проводниками и что есть другія тѣла, какъ напр. стекло, весьма трудно пропускающія электричество —это непроводники. Было указано на то, что существу-

ютъ два рода электричества — положительное и отрицательное, и на явленіе индукціи, заключающееся въ томъ, что если къ проводнику приближается наэлектризованное тѣло, то на сторонѣ проводника, ближайшаго къ этому тѣлу, обнаруживается разноименное, а на противоположной сторонѣ — одноименное электричества. Если соединить этотъ проводникъ съ землею, то одноименное электричество уходитъ въ землю, и остается на немъ только разноименное, которое иногда называется связаннымъ; мы будемъ называть его удержаннымъ.

Покажемъ еще одинъ опытъ индукціи. Мы имѣемъ здѣсь небольшой электроскопъ съ двумя золотыми листочками; онъ соединенъ посредствомъ длинной проволоки съ металлическимъ шаромъ. Если приблизить къ послѣднему натертый каучукъ, то листочки въ электроскопѣ начнутъ расходиться. Такимъ образомъ мы видимъ, что индукція дѣйствуетъ на большое разстояніе, что одноименное электричество отталкивается къ противоположному концу даже весьма длиннаго проводника.

На основаніи законовъ индукціи объясняется и самое первое изъ упомянутыхъ нами, но до сихъ поръ не выясненныхъ явленій, заключающееся въ томъ, что легкія тѣла, напр. бузинный шарикъ, одинаково хорошо притягиваются какъ къ натертому каучуку, такъ и къ натертому стеклу, вообще къ наэлектризованному, какому бы то ни было, тѣлу. Дѣло въ томъ, что если на данномъ тѣлѣ вызвано хотя бы положительное электричество, то на сосѣднемъ легкомъ тѣлѣ, напр. бузинномъ шарикѣ, происходитъ индукція; на ближайшей къ наэлектризованному тѣлу сторонѣ шарика вызывается отрицательное электричество, а на противоположной — положительное, которое, если бузинный шарикъ не изолированъ, можетъ уйти въ землю. Во всякомъ случаѣ на ближайшей сторонѣ шарика проявляется разноименное электричество, вслѣдствіе чего обнаруживается взаимное притяженіе между шарикомъ и наэлектризованнымъ тѣломъ. Нельзя поэтому сказать, что наэлектризованный каучукъ непосредственно притягиваетъ напр. бумажку или бузинный шарикъ, а происходитъ притяженіе между электричествомъ отрицательнымъ на каучукѣ и положительнымъ, индуктируемымъ на бумажкѣ или шарикѣ.

Переходимъ къ весьма важному вопросу о *распредѣленіи электричества на проводникахъ*. Когда мы имѣемъ какое нибудь металлическое тѣло, всѣ части котораго одинаково хорошо проводятъ электричество и когда, предварительно изолировавъ тѣло (поставивъ его напр. на стеклянныя ножки), мы, какимъ бы то ни было путемъ, передадимъ ему нѣкоторое опредѣленное количество электричества, то спрашивается: какъ распредѣлится въ этомъ тѣлѣ электричество — останется ли оно на поверхности тѣла, или пройдетъ внутрь, однимъ словомъ, распространится ли оно одинаково во всѣхъ частяхъ тѣла? Для того, чтобы рѣшить этотъ вопросъ, мы, хотя и не знаемъ, что такое положительное и отрицатель-

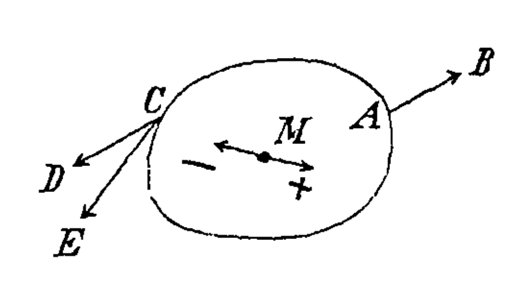
ное электричества, принуждены однако смотрѣть на нихъ, какъ на два вещества, одноименныя частицы которыхъ взаимно отталкиваются, а разноименныя взаимно притягиваются. Можно возразить, что вѣдь не доказано, что электричество есть вещество. Конечно, мы не знаемъ, что такое есть электричество, но это не мѣшаетъ намъ, разбирая явленія, предположить, что это какъ бы особое вещество, такъ какъ безчисленная масса опытовъ и наблюденій обнаруживаетъ, что явленія происходятъ такъ, *какъ будто* бы электричество есть жидкость или вообще вещество, состоящее изъ частицъ: 1) въ высшей степени легкоподвижныхъ и 2) другъ друга отталкивающихъ. Кромѣ того, мы знаемъ еще и третье свойство электричества: способность производить индукцію, разлагать нейтральное электричество. Основываясь на этой совокупности свойствъ электричества, мы легко докажемъ, что электричество распространяется только на поверхности проводника, что внутри послѣдняго не можетъ оставаться ни малѣйшее количество электричества. Это можетъ быть доказано весьма просто, слѣдующимъ образомъ. Если бы внутри какой нибудь проводящей массы явилось какое нибудь небольшое накопленіе электричества, то какъ бы оно мало ни было, его мысленно можно было бы раздѣлить на двѣ части—хотя бы на правую и на лѣвую. Эти двѣ части, которыя находятся въ весьма маломъ разстояніи другъ отъ друга, будутъ взаимно отталкиваться и непремѣнно разойдутся, т. е. одна часть уйдетъ направо, другая на лѣво. Слѣдовательно, нельзя себѣ представить, чтобы малѣйшее количество электричества оставалось отдѣльно внутри проводящей массы, имѣя возможность разойтись во всѣ стороны.

Легко далѣе понять, что все тѣло не можетъ наполниться однообразно электричествомъ, потому что если бы такое однообразное распредѣленіе имѣло мѣсто въ какой нибудь моментъ, то, разсматривая частицы, которыя находятся недалеко отъ поверхности, мы легко сообразимъ, что съ одной стороны отъ этихъ частицъ, со стороны поверхности тѣла, находится уже очень мало, а съ другой — внутренней—очень много электричества и отталкивающее дѣйствіе внутренней массы будетъ имѣть перевѣсъ надъ отталкивающимъ дѣйствіемъ того количества, которое находится у поверхности тѣла, такъ что частицы будутъ толкаться по направленію къ поверхности. Остается очевидно *единственно возможное распредѣленіе электричества: въ видѣ весьма тонкаго слоя по поверхности проводника.*

Всякая частица этого поверхностнаго слоя подвержена вліянію всѣхъ остальныхъ частицъ электричества, находящихся на разсматриваемомъ тѣлѣ и ее отталкивающихъ. Совокупность всѣхъ этихъ отталкивающихъ силъ дастъ нѣкоторую равнодѣйствующую силу; подъ вліяніемъ таковой находится очевидно каждая частица поверхностнаго слоя электричества. Равновѣсіе тогда только можетъ настать, если въ каж-

дой точкѣ A (фиг. 6) на поверхности тѣла эта равнодѣйствующая направлена по нормали AB къ поверхности, если каждая частица электричества отталкивается совокупностью остальныхъ частицъ по направленію какъ разъ отъ поверхности прочь, т. е. туда, куда она двинуться не можетъ. Дѣйствительно: еслибъ въ какомъ нибудь мѣстѣ C на поверхности эта равнодѣйствующая сила CD была направлена наклонно къ поверхности, то частица электричества, находящаяся на этомъ мѣстѣ, подъ вліяніемъ этой силы (ея тангенціальной слагаемой CE) непремѣнно перемѣстилась бы по направленію CE вдоль поверхности. Легко понять, что для равновѣсія необходимо еще, чтобъ во всякой точкѣ внутри тѣла равнодѣйствующая всѣхъ электрическихъ силъ, исходящихъ отъ безчисленнаго множества частицъ, составляющихъ поверхностный слой, была бы равна нулю, т. е. чтобъ эти, дѣйствующія со всѣхъ сторонъ на внутреннюю точку, силы какъ разъ взаимно уничтожались. Дѣйствительно: еслибы въ какой нибудь внутренней точкѣ M это условіе не было удовлетворено, сила не равнялась бы нулю, то подъ ея вліяніемъ произошло бы въ этой точкѣ разложеніе нейтральнаго электричества, положительное пошло бы въ одномъ, отрицательное въ другомъ направленіи, т. е. окончательно установившагося общаго состоянія тѣла мы бы еще не имѣли. Для общаго равновѣсія должно быть выполнено еще одно условіе: всѣ частицы электричества, находящіяся на поверхности проводника, дѣйствуя на внутреннюю точку проводника, должны въ совокупности производить дѣйствіе равное нулю; другими словами: всѣ эти дѣйствія должны взаимно уничтожаться.

Фиг. 6.



Все сказанное приводитъ насъ къ такому выводу: *для равновѣсія электричества на поверхности проводника необходимо, чтобы совокупность всѣхъ дѣйствій электрическихъ силъ во всякой внутренней точкѣ проводника была равна нулю, а во всякой точкѣ у поверхности это дѣйствіе было бы направлено по нормали къ поверхности, во внѣшнее пространство*. Тогда разложенія нейтральнаго электричества внутри тѣла, или, проще, индукціи, не будетъ и частицы, находящіяся на поверхности проводника, будутъ оставаться въ покоѣ.

Допуская справедливость унитарной гипотезы, мы можемъ оставить безъ измѣненія вышеприведенное объясненіе распредѣленія *избытка* только по поверхности проводника. Но остается еще разъяснить, отчего и недочетъ электричества остается на поверхности? У поверхности тѣлъ, содержащихъ недочетъ, какъ мы видѣли, имѣютъ перевѣсъ силы, исходящія отъ окружающей равномѣрной среды и направленныя во внутрь

тѣла. Эти силы и вталкиваютъ эфиръ во внутрь тѣла, такъ что недочетъ остается только у поверхности.

Математическій анализъ, чрезвычайно трудный и сложный, рѣшаетъ задачу о распредѣленіи электричества по поверхности проводника и показываетъ, что распредѣленіе, при которомъ упомянутыя два условія равновѣсія были бы удовлетворены, для всякой поверхности возможно, и, наоборотъ, математическимъ анализомъ можно доказать, что какую бы форму тѣло ни имѣло, всегда можно электричество распредѣлить по его поверхности такъ, что въ каждой точкѣ на поверхности равнодѣйствующая сила будетъ направлена во внѣшнее пространство и во всякой внутренней точкѣ совокупность силъ будетъ равняться нулю. Нечего и говорить, что подобнаго рода распредѣленіе электричества происходитъ само собою, т. е. что вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія частицъ передвиженіе ихъ происходитъ до тѣхъ поръ, пока не установится окончательное ихъ равновѣсіе.

Что дѣйствительно внутри наэлектризованнаго тѣла электричества нѣтъ, можно доказать нѣсколькими опытами. Мы имѣемъ проволочный цилиндръ, къ внутренней и внѣшней сторонамъ котораго приклеены бумажки. Соединяя этотъ цилиндръ съ электрической машиною, служащею для быстраго наэлектризованія тѣлъ (устройство ея будетъ объяснено въ слѣдующей лекціи), мы замѣчаемъ, что только наружныя бумажки отталкиваются, между тѣмъ какъ внутреннія остаются безъ движенія.

Еще замѣчательный опытъ. Мы имѣемъ согнутую сѣтку, къ наружной сторонѣ которой однимъ концемъ приклеена бумажная полоска. Если соединить сѣтку съ электрическою машиною, то полоска отталкивается. Мы перевертываемъ сѣтку, т. е. превращаемъ внѣшнюю сторону во внутреннюю и мгновенно происходитъ спаденіе листочка, перемѣщеннаго во внутрь сѣтки, т. е. во внутреннюю сторону тѣла, на которой нѣтъ электричества.

Фарадей устроилъ громадный ящикъ, который на шелковыхъ веревкахъ былъ привѣшанъ къ потолку. Въ этотъ ящикъ онъ помѣстился самъ, имѣя при себѣ весьма чувствительный электроскопъ; и не смотря на сильнѣйшее электризованіе ящика, Фарадей, находившійся внутри, не могъ обнаружить ни малѣйшихъ слѣдовъ электрическаго состоянія.

И такъ, электричество распредѣляется исключительно только по поверхности проводниковъ.

Легко ввести понятіе объ электрической *плотности*. Если электричество распредѣляется по поверхности тѣла, то будетъ ли находиться одинаковое количество электричества на каждой единицѣ поверхности, напр. на каждомъ кв. дюймѣ поверхности? Вообще говоря, этого нѣтъ; условившись количество электричества, находящееся на единицѣ поверхности тѣла, называть среднею плотностью электричества въ этомъ

мѣстѣ, мы имѣемъ право сказать, что электричество распредѣляется на поверхности тѣла съ неравномѣрною плотностію.

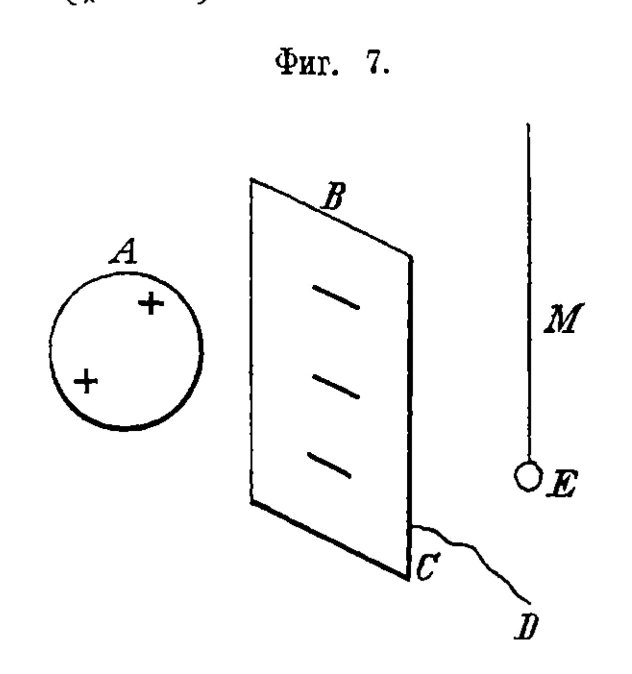
Переходимъ къ условіямъ равновѣсія электричества при индукціи. Возьмемъ какое нибудь наэлектризованное тѣло *A* (фиг. 2, стр. 9), на которомъ находится хотя бы положительное электричество; приближаемъ къ нему другое тѣло, проводникъ *B*; на послѣднемъ появится индуктированное электричество. Какія въ этомъ случаѣ будутъ условія равновѣсія? Мы имѣемъ на *A* положительное, на *B* съ одной стороны (*C*) отрицательное электричество, а съ другой—*Д* положительное. Равновѣсіе тогда будетъ имѣть мѣсто, когда совокупность дѣйствій всѣхъ трехъ электричествъ, для всякой внутренней точки тѣла *B* будетъ равно нулю; то же самое и для всякой внутренней точки тѣла *A*, если и это тѣло проводникъ. Если бы это условіе не было удовлетворено и сила въ какой бы ни было внутренней точкѣ не была бы равна нулю, то въ этой точкѣ произошло бы разложеніе нейтральнаго электричества.

Если соединить проводникъ *B* съ землею (фиг. 3, стр. 9), то положительное электричество уходитъ, остается только отрицательное, покрывающее тѣло *B*; на *A* остается положительное электричество. Равновѣсіе тогда настанетъ, когда совокупность дѣйствій положительнаго электричества, находящагося на *A*, и отрицательнаго, находящагося на *B*, для всякой внутренней точки тѣла *B* (и *A*, если оно проводникъ) будетъ равняться нулю. Отрицательное электричество на тѣлѣ *B* будетъ большею частью находиться на сторонѣ, обращенной къ тѣлу *A*. Разсмотримъ какую нибудь точку *M* внутри тѣла *B*. Отрицательное электричество будетъ находиться сравнительно близко къ этой точкѣ, положительное—далеко. Легко поэтому сообразить, что сила совокупныхъ дѣйствій этихъ двухъ электричествъ тогда только можетъ равняться нулю въ точкѣ *M*, когда количество индуктированнаго отрицательнаго электричества на *B* будетъ меньше, чѣмъ количество положительнаго, находящагося на *A*. Математическій анализъ показываетъ, что если электричества распредѣлились на поверхностяхъ тѣлъ *A* и *B* такъ, что во всякой внутренней точкѣ въ *A* и *B* равнодѣйствующая всѣхъ электрическихъ силъ равна нулю, то другое необходимое условіе равновѣсія будетъ само собою удовлетворено: въ каждой точкѣ на поверхностяхъ тѣлъ *A* и *B* равнодѣйствующая всѣхъ электрическихъ силъ будетъ перпендикулярна (нормальна) къ поверхности проводниковъ. Если мы имѣемъ болѣе общую задачу, бо́льшее число наэлектризованныхъ тѣлъ, то является въ самой общей формѣ *электростатическая задача*: какъ распредѣляется электричество на поверхностяхъ нѣсколькихъ сосѣднихъ проводниковъ, изъ которыхъ нѣкоторые могутъ быть изолированы, а другіе соединены съ землею? Условія равновѣсія и въ общемъ случаѣ будутъ: 1) во всякой внутренней точкѣ каждаго изъ проводниковъ совокупное дѣйствіе всѣхъ электрическихъ массъ, распредѣлившихся на поверхностяхъ проводни-

ковъ и на непроводникахъ, должно равняться нулю, потому что, будь оно не равно нулю, произошла бы индукція и не было бы равновѣсія; 2) во всякой точкѣ на поверхности всякаго изъ проводниковъ сила должна быть нормальна къ поверхности. Оказывается, что если первое условіе удовлетворено, то второе само по себѣ также удовлетворено.

Если рядомъ съ наэлектризованнымъ (хотя бы положительно) тѣломъ A (фиг. 7) помѣстить металлическое большое тѣло BC, соединенное съ землею (CD), напр. жестяной листъ, то на сторонѣ листа, обращенной къ тѣлу A, распространяется отрицательное электричество. Оказывается приэтомъ, что съ противоположной стороны M отъ тѣла BC не обнаруживаются вообще никакія электрическія явленія: бузинный шарикъ E не притягивается, какъ бы мы близко его ни поднесли къ тѣлу BC; на проводникахъ, помѣщенныхъ со стороны M, не замѣчается индукція и т. д.

Фиг. 7.



Присутствіе тѣла BC, соединеннаго съ землею, какъ бы маскируетъ тѣло A, уничтожаетъ его дѣйствіе въ пространствѣ M. Явленіе это называется *электрической тѣнью*,—мы говоримъ, что пространство M находится въ электрической тѣни тѣла BC. Объясняется это явленіе тѣмъ, что во всякой точкѣ пространства M къ дѣйствію положительнаго электричества, находящагося на тѣлѣ A, прибавляется равное ему по величинѣ, но противоположное по направленію дѣйствіе отрицательнаго электричества, находящагося на BC. Совокупное дѣйствіе всѣхъ электрическихъ массъ въ пространствѣ M оказывается такимъ образомъ равнымъ нулю. Легко сдѣлать опытъ, который докажетъ весьма наглядно явленіе тѣни. Мы видѣли, что если приблизить натертую каучуковую пластинку къ металлическому шару, соединенному посредствомъ проволоки съ электроскопомъ, то листочки сусальнаго золота въ электроскопѣ расходятся. Помѣщаемъ большой жестяной листъ, соединенный съ землею между каучукомъ и шаромъ — и никакого расхожденія листочковъ не замѣчается.

Вотъ другой опытъ: мы помѣщаемъ электроскопъ внутри металлической сѣтки, соединенной съ землею, натираемъ каучуковую пластинку и приближаемъ ее къ сѣткѣ. Ни малѣйшаго движенія листочковъ электроскопа не замѣчается. Электроскопъ находится въ электрической тѣни сѣтки.

Электричество на поверхности проводниковъ распредѣляется вообще съ неравномѣрною плотностью. Вотъ въ чемъ заключается, вкратцѣ, сущность результатовъ вычисленій по этому вопросу. На шаровидномъ

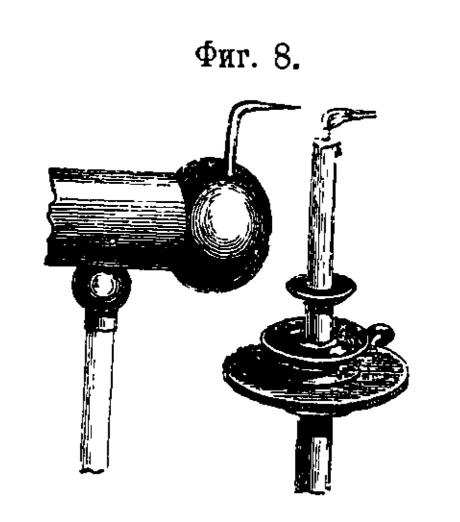
проводникѣ электричество распространяется по всей поверхности съ равномѣрною плотностью. На продолговатомъ проводникѣ электричество распространяется неравномѣрно и при томъ такъ, что на концахъ проводника плотность электричества будетъ бо̀льшая, чѣмъ въ среднихъ частяхъ повѐрхности, и чѣмъ проводникъ продолговатѣе, тѣмъ болѣе на концахъ будетъ перевѣсъ плотности электричества. Если мы будемъ имѣть дѣло съ тѣломъ, оканчивающимся остріемъ, то почти вся масса электричества соберется на остромъ концѣ. Это свойство острія играетъ чрезвычайно важную роль во многихъ приборахъ и потому слѣдуетъ помнить, что если проводникъ имѣетъ остріе, ребра или другія выдающіяся мѣста, то на нихъ преимущественно накопляется электричество.

Если мы электризуемъ какое либо тѣло, то замѣчаемъ, что черезъ нѣкоторый промежутокъ времени электрическое состояніе прекращается, электричество исчезаетъ; для нѣкоторыхъ тѣлъ потеря электричества происходитъ весьма быстро, для другихъ—довольно медленно; такъ напр. натертый каучукъ, оставленный въ сухомъ мѣстѣ, обнаруживаетъ электрическія свойства еще черезъ часъ. Явленіе постепенной потери электрическаго состоянія называется *разсѣеваніемъ* электричества. Разсѣеваніе электричества въ сущности есть переходъ его отъ одного тѣла къ сосѣднему, напр. по ниткѣ, на которой тѣло привѣшено, или просто въ воздухъ. Если тѣло электризовано, напр. положительно, то слой воздуха, непосредственно находящійся въ соприкосновеніи съ поверхностью тѣла, также электризуется положительно, вслѣдствіе чего является отталкиваніе между тѣломъ и воздухомъ, какъ электризованными одноименно. Сбоку притекаетъ новый слой воздуха, который также перенимаетъ отъ тѣла часть его электричества, также отталкивается и т. д. Такимъ образомъ, около наэлектризованнаго тѣла образуется непрерывный потокъ воздуха, уносящаго электричество. Въ этомъ и заключается сущность разсѣеванія. Разсѣеваніе было изслѣдовано Матеучи и многими другими учеными. Матеучи нашелъ, что быстрота разсѣеванія электричества пропорціональна кубу влажности воздуха; далѣе онъ нашелъ, что разсѣеваніе увеличивается съ повышеніемъ температуры.

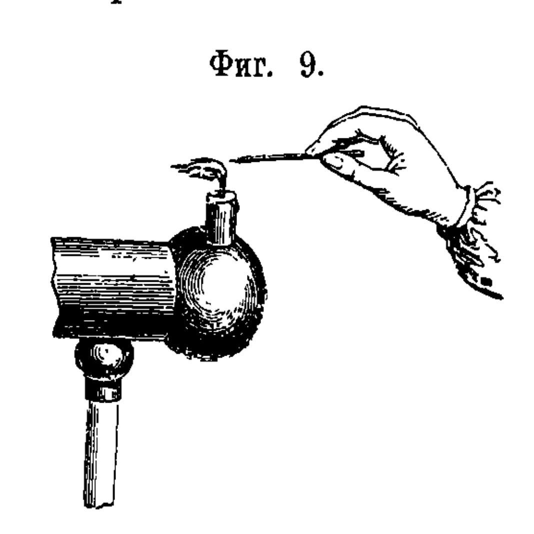
Въ разрѣженномъ газѣ разсѣеваніе сначала идетъ быстро, потомъ медленнѣе. Разсѣеваніе увеличивается отъ близости всякаго проводника—что̀ понятно, такъ какъ на сосѣднемъ проводникѣ происходитъ индукція, разноименныя электричества взаимно притягиваются, что̀ и должно способствовать болѣе ускоренному удаленію электричества съ поверхности тѣла. Впрочемъ, болѣе новые опыты показали, что влажность воздуха вѣроятно не имѣетъ такаго большаго вліянія на быстроту разсѣеванія электричества; если оно во влажномъ воздухѣ разсѣевается скорѣе, то потому, что тѣ столбики, на которые упирается тѣло, тѣ нити, на которыхъ оно привѣшено, дѣлаются влажными, а вслѣдствіе этого довольно хорошими проводниками электричества. Понятно, что раз-

сѣеваніе въ данной точкѣ на поверхности электризованнаго тѣла будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ большее въ этомъ мѣстѣ скопленіе электричества. Чѣмъ больше плотность элекричества на проводникѣ, тѣмъ сильнѣе всякая отдѣльная частица отталкивается всѣми остальными и, слѣдовательно, тѣмъ легче переходитъ въ воздухъ. Мы видѣли, что на остріяхъ электричество накопляется въ наибольшемъ количествѣ, а отсюда слѣдуетъ, что на остріяхъ должно быть особенно сильное разсѣваеніе. И дѣйствительно, оно до того громадно, что всякое металлическое тѣло, снабженное остріемъ, вовсе не можетъ быть наэлектризовано, потому что электричество на такомъ тѣлѣ сейчасъ же переходитъ въ остріе и изъ него разсѣевается въ воздухъ. Это очень важное свойство остріевъ. Что дѣйствительно на остріяхъ происходитъ весьма сильное разсѣеваніе электричества, можно доказать слѣдующимъ опытомъ. Мы соединяемъ электрическую машину съ острымъ стержнемъ. Приводя машину въ дѣйствіе, т. е. электризуя стержень и приближая къ острію пламя свѣчи, мы замѣчаемъ чрезвычайно сильное дѣйствіе тока воздуха, который можетъ потушить свѣчу (фиг. 8). Такой потокъ воздуха, какъ мы видѣли, сопровождаетъ разсѣеваніе электричества.

Фиг. 8.



Фиг. 9.



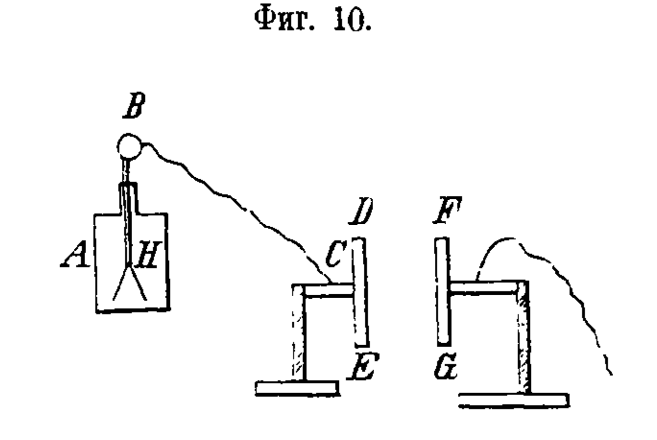
Если мы къ наэлектризованному тѣлу приблизимъ металлическое остріе, соединенное съ землею, то электрическое состояніе перваго изчезнетъ и вотъ почему: положимъ, что тѣло наэлектризовано положительно, тогда на остріи будетъ индуктироваться отрицательное электричество, которое, разсѣеваясь весьма быстро, будетъ переходить на данное тѣло, вслѣдствіе чего на послѣднемъ очевидно должно прекратиться электрическое состояніе.

Если соединить огарокъ зажженой свѣчи съ электрическою машиною и приблизить остріе къ пламени, то потокъ воздуха, сопровождающій это разсѣеваніе, сдѣлается непосредственно замѣтнымъ (фиг. 9).

Перейдемъ къ разсмотрѣнію *конденсатора* и *Лейденской банки*. Если мы имѣемъ какое нибудь тѣло A, изолированное, наэлектризованное, и если къ нему приблизимъ другое тѣло B, соединенное съ землею, то, какъ мы видѣли, на этомъ тѣлѣ появится отрицательное электриче-

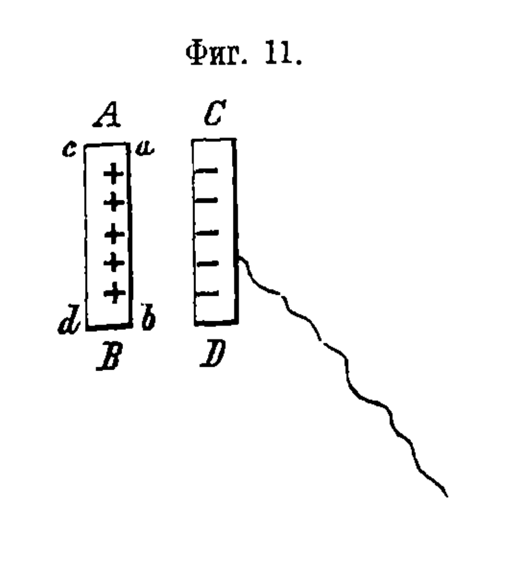
ство. Это есть электричество *индуктированное.* Мы до сихъ поръ вовсе не разсматривали *индуктирующаго* электричества. Не произойдетъ ли и съ нимъ какая либо перемѣна? Несомнѣнно произойдетъ, а именно: если положительное электричество проводника A не даетъ отрицательному электричеству тѣла B уйти въ землю, то и, наоборотъ, отрицательное электричество тѣла B, притягивая къ себѣ положительное электричество тѣла A, заставляетъ его собраться на сторонѣ, обращенной къ тѣлу B, т. е. *должно произойти перемѣщеніе индуктирующаго электричества въ сторону индуктируемаго.* Легко сдѣлать опытъ, который обнаружитъ это перемѣщеніе. Мы беремъ электроскопъ A (фиг. 10), соединенный проволокою BC съ металлическою изолированною пластинкою DE; электризуемъ эту пластинку, вслѣдствіе чего золотые листочки электроскопа разойдутся. Приблизимъ къ пластинкѣ DE вторую пластинку FG, соединенную съ землею: тотчасъ же уменьшается расхожденіе листочковъ въ A: электричество, распространившееся по DE, CB и BH, большею частью перетягивается на пластинку DE. Если удалить FG, то часть электричества вновь возвращается на стержень BH и листочки вновь сильнѣе расходятся.

Фиг. 10.



Если къ наэлектризованной металлической пластинкѣ AB (фиг. 11) приблизить другую CD, соединенную съ землею, то электричество, находящееся на AB, не будетъ уже одинаково распредѣляться по ея поверхности и бо̀льшая часть его (положимъ, что оно положительное) соберется со стороны ab. Приборъ, состоящій изъ двухъ пластинокъ, изъ которыхъ одна можетъ быть соединена съ какимъ нибудь источникомъ электричества, а другая съ землею, называется *конденсаторомъ,* на томъ основаніи, что электричество накопляется, какъ бы сгущается на одной сторонѣ пластинки AB. На этомъ простомъ принципѣ основано устройство прибора, который можетъ служить для накопленія электричества въ бо̀льшемъ количествѣ. Для этого недостаточно просто соединить какое нибудь тѣло съ электрическою машиною; разсѣеваніе электричества очень скоро достигнетъ такихъ размѣровъ, что сколько электричества будетъ притекать, столько же будетъ разсѣеваться въ воздухъ. Мы видѣли, что на пластинкѣ AB (фиг. 11) конденсатора

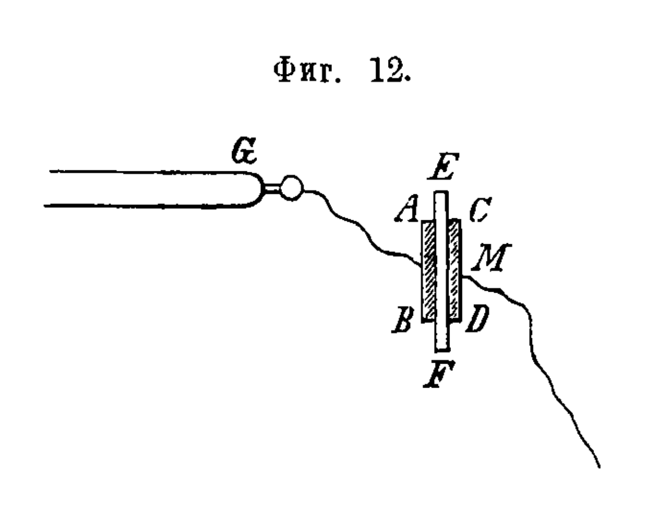
Фиг. 11.



электричество собирается на сторонѣ *ab* (если близко придвинуть *CD*); на сторонѣ же *cd* будетъ весьма мало электричества и вслѣдствіе этого сравнительно ничтожное разсѣеваніе.

Если бы мы могли какимъ нибудь образомъ добиться того, чтобы и на сторонѣ *ab* не могло происходить никакого разсѣеванія, то очевидно, что мы получили бы тѣло, на всей поверхности котораго разсѣеваніе будетъ ничтожное. Чтобы этого достигнуть, мы помѣстимъ большую стеклянную пластинку *EF* (фиг. 12) между двумя металлическими пластинками *AB* и *CD* (*AB* соединено съ электрическою машиною *G*, *CD* съ землею). Если электризовать *AB*, то вся масса электричества соберется на сторонѣ, обращенной къ стеклу; но такъ какъ стекло не проводникъ, то о переходѣ электричества къ пластинкѣ *CD* или о разсѣеваніи его въ этомъ мѣстѣ не можетъ быть и рѣчи. Такой приборъ, состоящій изъ двухъ металлическихъ пластинокъ, отдѣленныхъ стеклянною пластинкою, называется стекляннымъ конденсаторомъ. Разсматривая его устройство, мы видимъ, что если стеклянный конденсаторъ съ одной стороны *AB* будетъ соединенъ съ дѣйствующею электрическою машиною, а съ другой стороны *CD* съ землею, то со стороны *AB* будетъ притекать непрерывно хотя бы положительное электричество, которое индуктируетъ на пластинкѣ *CD* отрицательное электричество; оно само перемѣщается на сторону, обращенную къ стеклу, вслѣдствіе чего на *AB* разсѣеваніе дѣлается весьма незначительнымъ. Мы можемъ такимъ образомъ накопить огромное количество положительнаго электричества, удержанное на *AB* со стороны стекла, огромное количество отрицательнаго электричества, удержанное на *DC* также со стороны стекла, и еще небольшое количество положительнаго электричества на *AB* со стороны, не обращенной къ стеклу; послѣднее можетъ быть названо *свободнымъ* электричествомъ. Совокупность этихъ трехъ количествъ можетъ въ 100 и бо́льшее число разъ превышать то количество, которое бы накопилось на *AB*, еслибъ эта пластинка была просто соединена съ электрическою машиною и не было бы вблизи другой пластинки *CD*.

Фиг. 12.

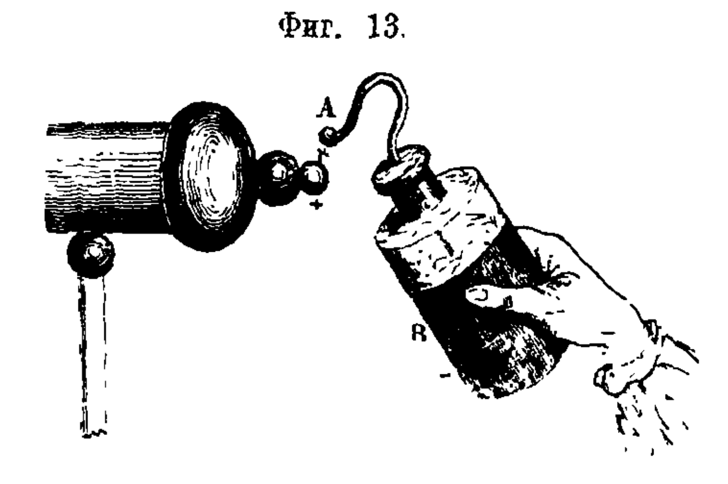


Прежде называли электричество, которое накопляется въ конденсаторѣ на обѣихъ сторонахъ стеклянной пластинки, связаннымъ электричествомъ и соединяли съ этимъ словомъ понятіе объ электричествѣ, находящемся въ какомъ-то особомъ состояніи. Дѣло въ томъ, что мы можемъ приложить руку къ пластинкѣ *CD*, приблизить къ *CD* бузинный шарикъ и однако при этомъ мы не замѣтимъ ни малѣйшаго дѣйствія

электричества. Но не имѣя понятія о томъ, что такое электричество, не странно ли говорить, что электричество, само по себѣ представляющее, можетъ быть, особое состояніе вещества, находится еще въ особомъ состояніи? Въ дѣйствительности, здѣсь ни о какомъ особомъ состояніи и рѣчи быть не можетъ. Дѣло въ томъ, что отсутствіе электрическихъ дѣйствій со стороны *CD* объясняется тѣмъ, что совокупное дѣйствіе положительнаго электричества на *AB* и отрицательнаго электричества на *BC* будетъ въ каждой точкѣ пространства *M* (фиг. 12) равно нулю. Мы имѣемъ, слѣдовательно, дѣло съ разсмотрѣннымъ уже явленіемъ электрической тѣни (см. стр. 18).

Видоизмѣненіе конденсатора представляетъ *Лейденская банка*. Это—стеклянная банка (фиг. 13), обклеенная снаружи и внутри фольгою. Наружная сторона *B* соединяется съ землею, т. е. банка просто ставится на столъ или берется въ руку, а внутренняя фольга посредствомъ внутренней цѣпочки и стержня *A* соединяется съ электрическою машиною. Стеклянная банка играетъ роль стеклянной пластинки конденсатора, а фольга, которою она обклеена внутри и снаружи — двухъ металлическихъ пластинокъ конденсатора. Если электрическая машина дѣйствуетъ, то положительное электричество втекаетъ во внутрь банки, распространяясь по внутренней фольгѣ, индуктируетъ на наружной фольгѣ отрицательное электричество и притягиваетъ его къ стеклу. Положительное электричество внутри банки также притягивается къ стеклу и въ результатѣ оказывается, что снаружи находится большое количество удержаннаго отрицательнаго. а внутри—положительнаго электричества и, кромѣ того, внутри и на шарикѣ еще небольшое количество свободнаго электричества.

Фиг. 13.

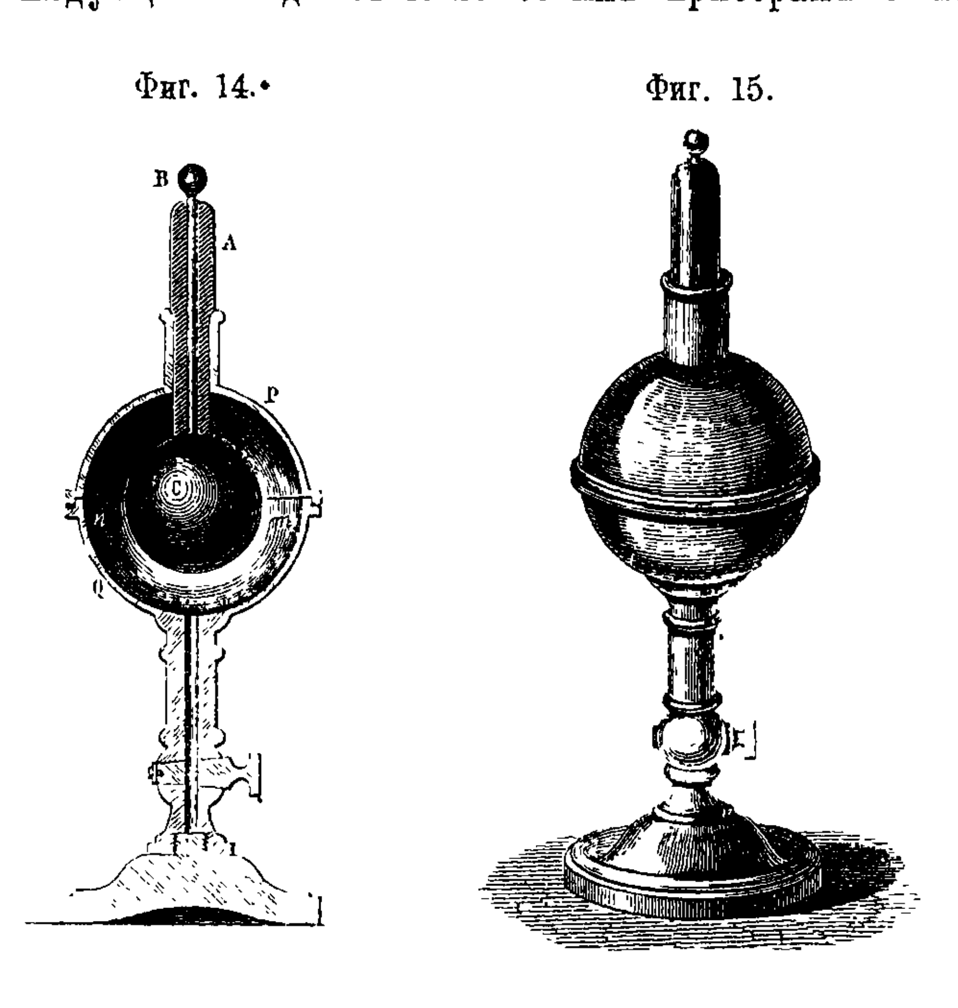


Переходимъ къ очень важному, въ особенности въ теоретическомъ отношеніи, вопросу о діэлектрикахъ.

Фарадей, какъ по крайней мѣрѣ сначала казалось, первый въ 1837 г. открылъ, что количество электричества, которое собирается на конденсаторѣ, зависитъ отъ вещества пластинки, помѣщенной между двумя металлическими пластинками. Онъ пользовался двумя одинаковыми шаровидными конденсаторами. Каждый состоялъ изъ полаго шара (фиг. 14 и 15), раздѣленнаго на двѣ части *P* и *Q*, внутри котораго на изолированной шеллакомъ проволокѣ, оканчивающейся сверху шарикомъ *B*, висѣлъ латунный шаръ *C*. Соединяя шарикъ *B* съ дѣйствующею электрическою машиною, шаръ *PQ* съ землею и помѣщая въ пространствѣ *mn* испытуемое вещество, можно было зарядить конденсаторъ. Другой

конденсаторъ оставался наполненнымъ сухимъ воздухомъ. Зарядивъ одинъ изъ этихъ приборовъ, Фарадей соединилъ какъ внутренній, такъ и внѣшній его шары съ соотвѣтствующими частями другаго прибора. Еслибъ индукціонное дѣйствіе въ обоихъ приборахъ было одно и то же, понятно, зарядъ распредѣлился бы на нихъ поровну. Совершенная неодинаковость получающихся двухъ зарядовъ доказываетъ, что индукція въ нихъ различно сильна. Это явленіе показалось до того страннымъ и несоотвѣтствующимъ взгляду на индукцію, который преобладалъ въ наукѣ, что до весьма недавняго времени на эти опыты Фарадея указывали почти во всѣхъ учебникахъ, какъ на какіе-то курьезы, которые вѣроятно объясняются какими нибудь ошибками въ наблюденіяхъ самого Фарадея. Но вотъ, начиная съ конца 60-хъ годовъ, стали появляться весьма быстро, одинъ за другимъ масса опытовъ, подтвердившихъ вѣрность полученныхъ Фарадеемъ результатовъ. Для разныхъ тѣлъ (непроводниковъ) количество индуктируемаго черезъ нихъ электричества дѣйствительно будетъ различное. Тѣла, которыя, будучи помѣщены между индуктирующимъ и индуктируемымъ тѣлами, производятъ такого рода дѣйствіе, называются *діэлектриками* и самое явленіе—діэлектрическимъ явленіемъ, *діэлектричествомъ*. Всякому веществу, сѣрѣ, парафину, каучуку и т. д., присуща такъ наз. *діэлектрическая постоянная*. Она опредѣляется слѣдующимъ образомъ: если помѣстить между пластинками конденсатора хотя бы стекло, то на немъ накопится нѣкоторое количество электричества: если же отнять стекло, то количество электричества будетъ въ 3 раза меньше. Число 3 называютъ діэлектрической постоянною стекла. Вообще діэлектрическая постоянная нѣкотораго вещества есть число, которое показываетъ, во сколько разъ присутствіе этого вещества между пластинками конденсатора усиливаетъ индуктивное дѣйствіе. Массою опытовъ Больцмана, Шиллера, Зилова, Гопкинсона, Гордона и др. была опредѣлена величина діэлектрической постоянной для различныхъ веществъ. Она для разныхъ веществъ различна;

Фиг. 14. Фиг. 15.



кромѣ того, оказывается еще, что діэлектрическая постоянная (она еще называется *индуктивною способностью діэлектрика*) въ первый моментъ электризаціи конденсатора имѣетъ одно значеніе, а затѣмъ медленно увеличивается. Поэтому необходимо для всякаго вещества опредѣлить, во сколько разъ оно усиливаетъ индуктивное дѣйствіе электричества, чрезъ возможно короткое время послѣ электризаціи. Такое изслѣдованіе было сдѣлано Гордономъ. Устроенный для этой цѣли приборъ весьма сложенъ; въ немъ имѣется пластинка, которая въ каждую секунду до 13,000 разъ переэлектризовывается то положительнымъ, то отрицательнымъ электричествомъ.

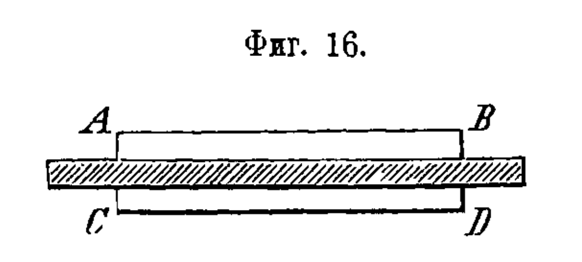
Разсмотримъ, какимъ образомъ, по современному взгляду, объясняется усиливающее индукцію дѣйствіе діэлектриковъ? Мы знаемъ, что если къ наэлектризованному тѣлу приблизить проводникъ, то во всей его массѣ происходитъ разложеніе нейтральнаго электричества, причемъ электричество свободно протекаетъ чрезъ него, собираясь на его поверхности. Если же второе тѣло — непроводникъ, то во всякой его точкѣ нейтральное электричество стремится къ разложенію и достигаетъ его, но полученныя при разложеніи два электричества не будутъ въ состояніи удалиться далеко другъ отъ друга, такъ что въ каждой частицѣ тѣла останется съ одной стороны положительное, съ другой — отрицательное электричество. Такимъ образомъ произойдетъ особаго рода внутренняя электризація во всей массѣ діэлектрика. Дѣйствіе этихъ внутреннихъ электричествъ присоединяется къ дѣйствію индуктирующаго электричества, усиливая его, какъ показываютъ и теоретическія изслѣдованія. Понятно, отчего тутъ время должно играть роль; чѣмъ продолжительнѣе происходитъ индуктивное дѣйствіе на діэлектриковъ, тѣмъ болѣе должны раздвинуться около каждой внутренней частицы тѣла разнородныя электричества.

Легко понять всеобщее удивленіе, когда въ 1881 г. были найдены рукописи *Кевендиша*, изъ которыхъ было усмотрѣно, что въ 1781 г.— т. е. ровно сто лѣтъ раньше — имъ уже была открыта индуктивная способность разныхъ тѣлъ и сдѣланы опыты, доказавшіе ея существованіе.

Лейденская банка отличается отъ конденсатора только по формѣ; слѣдовательно, для того, чтобы изучить дѣйствія разряда, можно обратиться къ конденсатору. *Зарядить* конденсаторъ, значитъ накопить на AB (фиг. 16) у стекла большое количество удержаннаго, напр. положительнаго электричества, на свободной поверхности AB нѣкоторое количество свободнаго положительнаго электричества и на DC большое количество удержаннаго отрицательнаго электричества. Пластинку не слѣдуетъ брать ни слишкомъ толстую и ни слишкомъ тонкую. Если она слишкомъ тонка, то отъ стремленія двухъ электричествъ соединиться она можетъ быть пробита: если она будетъ слишкомъ толста,

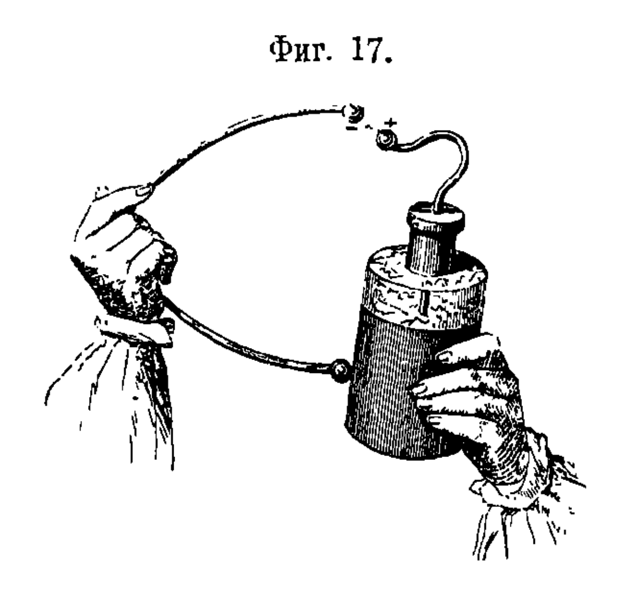
то одна пластинка конденсатора будетъ далека отъ другой и индуктивное дѣйствіе будетъ вообще слишкомъ слабое. Если мы изолируемъ конденсаторъ послѣ того, какъ мы его зарядили, и затѣмъ коснемся до AB какимъ нибудь тѣломъ, соединеннымъ съ землею, то свободное положительное электричество, находящееся на AB, уйдетъ въ землю — получится искра. Но тогда количество всего положительнаго электричества на AB будетъ уменьшено, вслѣдствіе этого непремѣнно освободится и нѣкоторая часть отрицательнаго электричества на CD. Касаясь теперь до CD тѣломъ, соединеннымъ съ землею, получимъ опять искру: освободившееся отрицательное электричество уйдетъ въ землю. Но вслѣдствіе этого опять на пластинкѣ AB освободится часть положительнаго электричества, такъ что на ней будетъ находиться опять свободное электричество и можетъ быть получена искра; вслѣдствіе этого освободится опять на AD отрицательное электричество, которое также можетъ дать искру и т. д. Мы можемъ *разрядить* Лейденскую банку или конденсаторъ, получая поперемѣнно искры то съ одной, то съ другой пластинки. Можно и сразу разрядить банку, соединивъ между собою внутреннюю и наружную стороны посредствомъ такъ назыв. разрядника (фиг. 17), иногда снабженнаго стеклянною ручкою.

Фиг. 16.



Для этого прикладываютъ одинъ изъ шариковъ ко внѣшней обкладкѣ банки, а другой приближаютъ къ концу стержня банки (фиг. 17); тогда появляется искра.

Фиг. 17.



Послѣ заряженія конденсатора взаимное притяженіе разнородныхъ электричествъ будетъ такое сильное, что, говоря общепринятымъ языкомъ и не входя въ объясненіе сущности дѣла, мы можемъ сказать, что электричества переходятъ не только на поверхность діэлектрика (стекла), но даже входятъ въ самую его массу. Вслѣдствіе этого, когда мы разряжаемъ конденсаторъ или Лейденскую банку, то не все электричество, накопленное въ немъ, разряжается сразу; часть электричества, которая вошла въ стекло, не успѣетъ тотчасъ же изъ него выйти. Поэтому, черезъ нѣкоторое время послѣ разряда можетъ быть получена еще вторая искра. Это такъ называемый *остаточный зарядъ*.

Перейдемъ къ различнымъ *видамъ искръ*, получаемыхъ при разрядѣ. Искра, которая получается при соединеніи двухъ электричествъ и которая, въ сущности, представляетъ собою ни что иное, какъ рас-

каленный воздухъ можетъ имѣть весьма различные внѣшніе виды. Укажемъ только на главнѣйшіе изъ нихъ: 1) *Искра* яркаго свѣта, въ видѣ зигзага; она получается, когда разрядъ на пути не встрѣчаетъ худыхъ проводниковъ. 2) *Метелка* — это явленіе чрезвычайно быстраго вытеканія электричества изъ сильно наэлектризованнаго проводника, когда вблизи находится другой проводникъ. Тогда слышится шипѣніе и въ темнотѣ представляется нѣчто въ видѣ свѣтящейся метелки или кисточки. 3) Иногда поверхность наэлектризованнаго проводника покрывается какъ бы слоемъ спокойнаго свѣта. Этотъ третій видъ разряда, *свѣченіе*, не сопровождается звукомъ. 4) Наконецъ, существуетъ такъ называемый *темный разрядъ* въ разрѣженномъ газѣ, около отрицательнаго полюса; электричество вытекаетъ безъ всякаго видимаго проявленія свѣта.

Черезъ разрѣженный газъ электричество вообще проходитъ сравнительно весьма легко и газъ при этомъ свѣтится.

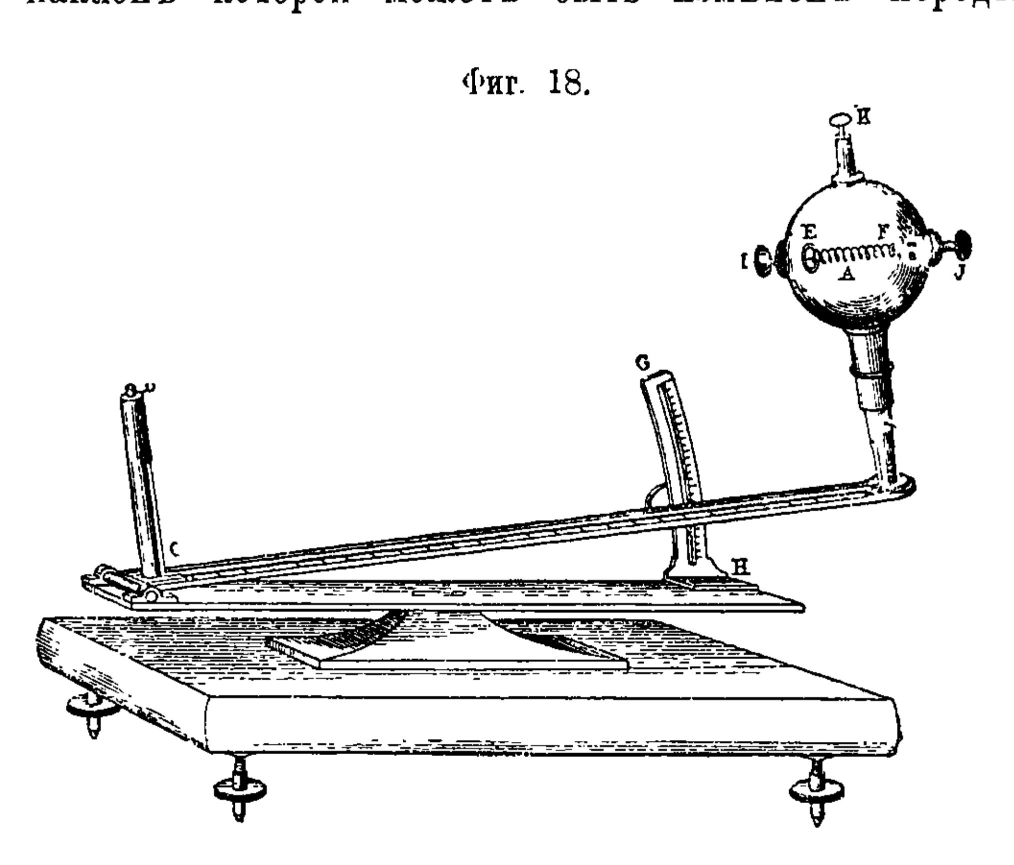
Разрядъ электрическій продолжается чрезвычайно короткій промежутокъ времени, иногда менѣе одной десятитысячной доли секунды. Колесо, весьма быстро вращающееся въ темнотѣ, освѣщенное электрическою искрою, кажется стоящимъ неподвижно, вслѣдствіе того, что освѣщеніе продолжается столь короткій премежутокъ времени, что, пока колесо освѣщается, оно не успѣетъ сколько нибудь замѣтно передвинуться въ сторону.

Феддерзенъ впервые доказалъ, что разрядъ Лейденской банки есть *разрядъ колебательный*, т. е. что искра не есть единичная искра, но что, не смотря на кратковременность явленія, происходитъ большое число послѣдовательныхъ разрядовъ по перемѣннымъ направленіямъ. Если внутрення фольговая обложка банки была наэлектризована положительно, наружная отрицательно и мы соединимъ обѣ стороны, то получится первая искра, но при этомъ какъ будто происходитъ переэлектризованіе банки, т. е. сторона, которая была наэлектризована положительно, дѣлается наэлектризованною отрицательно и наоборотъ; происходитъ второй разрядъ, является вторая искра и т. д. Это явленіе повторяется много разъ, такъ что весь разрядъ мы должны себѣ представить въ видѣ быстраго колебанія взадъ и впередъ разноименныхъ электричествъ, что̀ представляется особенно простымъ и понятнымъ при допущеніи справедливости унитарнаго взгляда.

При разрядѣ Лейденской банки можетъ проявляться цѣлый рядъ механическихъ, тепловыхъ и т. д. дѣйствій. Стеклянное тѣло, не проводящее электричество, помѣщенное между шариками разрядника и Лейденской банки (фиг. 17), можетъ быть пробито; тонкія металлическія проволоки могутъ быть согнуты, могутъ принимать форму зигзаговъ, могутъ быть разбросаны, какъ бы разорваны въ пыль. Обнаруживаются и дѣйствія тепловыя. Всякая проволока, чрезъ которую проводится

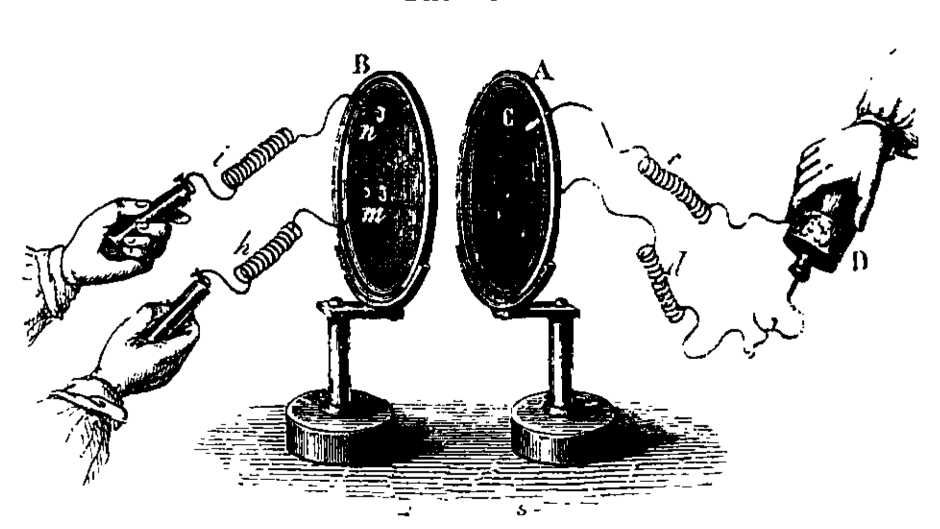
разрядъ, нагрѣвается и при сильномъ разрядѣ можетъ добѣла накалиться или расплавиться. Подробно изслѣдовалъ это явленіе *Риссъ*. Приборъ, которымъ онъ при этомъ пользовался, изображенъ на фиг. 18. Онъ состоитъ изъ стекляннаго шара *A*, соединеннаго съ трубкою *BC*, наклонъ которой можетъ быть измѣненъ передвиженіемъ вдоль дуги *GH*; часть этой трубки наполняется жидкостью. Внутри шара *A* проходитъ тонкая платиновая проволока *E F*, черезъ которую и пропускается зарядъ. Теплота, выдѣляющаяся въ этой проволокѣ, передается воздуху, заключенному въ шарѣ *A*, вслѣдствіе чего воздухъ расширяется и жидкость въ трубкѣ *BC* опускается. Величина этого опусканія и служитъ мѣрою количества теплоты, которая при электрическомъ разрядѣ выдѣлилась въ проволокѣ *EF*. Приборъ фиг. 18 извѣстенъ подъ названіемъ электрическаго термометра. *Риссъ* нашелъ, что тѣла тѣмъ болѣе нагрѣваются, чѣмъ они хуже проводятъ электричество, такъ что желѣзная проволока — болѣе дурной проводникъ, чѣмъ серебряная—будетъ и сильнѣе нагрѣта, чѣмъ послѣдняя. Далѣе онъ нашелъ, что количество тепла, выдѣляемаго въ тѣлѣ, чрезъ которое проходитъ разрядъ, будетъ пропорціально количеству электричества, проходящаго черезъ него, и пропорціонально плотности этого электричества. Послѣднее означаетъ, что если нѣкоторое количество электричества, распредѣленное на *двѣ* Лейденскія банки, при разряженіи его чрезъ нѣкоторое тѣло дастъ опредѣленное количество выдѣленной теплоты, то это же самое количество электричества, сосредоточенное въ *одной* банкѣ, дастъ при разрядѣ въ томъ же тѣлѣ въ два раза болѣе сильное нагрѣваніе, потому что оно будетъ въ послѣднемъ случаѣ въ два раза больше сгущено. О другихъ дѣйствіяхъ разряда говорить теперь не будемъ, упомянемъ только, что существуютъ дѣйствія физіологическія (сильное ощущеніе); химическія (разрядъ производитъ напр. химическое разложеніе тѣлъ на ихъ составныя части; кислородъ воздуха превращается въ особое видоизмѣненіе, называемое озономъ, присутствіе котораго производитъ тотъ оргинальный запахъ, который чувствуется вблизи дѣйству-

Фиг. 18.



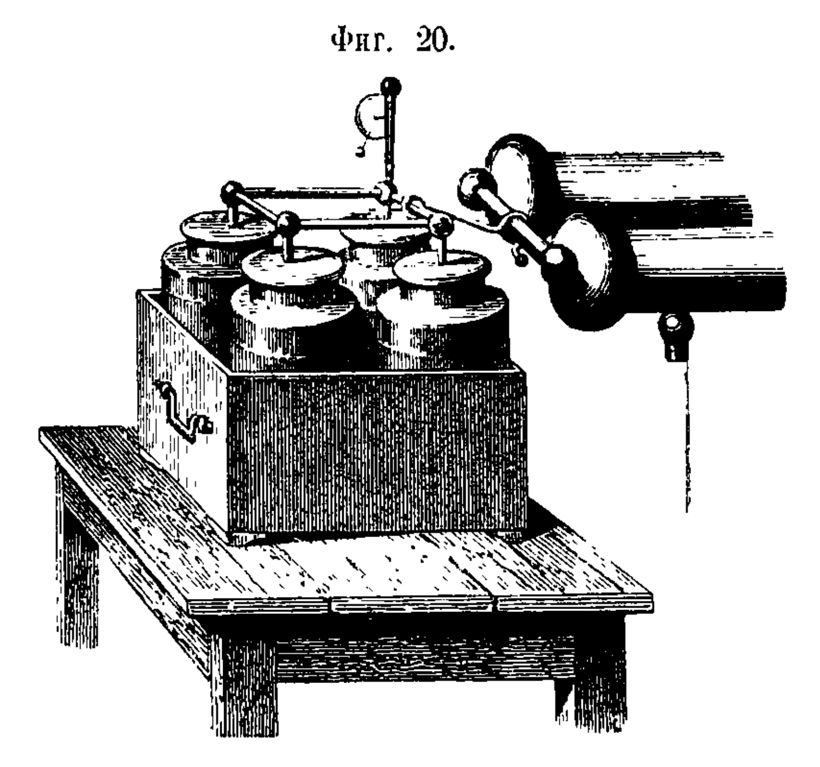
ющихъ электрическихъ машинъ); магнитныя (магнитная стрѣлка, обращенная на сѣверъ, можетъ отклоняться въ сторону, если вблизи ея черезъ проволоку проходитъ разрядъ; сталь можетъ при тѣхъ же условіяхъ намагнититься) и индукціонныя.

Фиг 19



О послѣднихъ скажемъ нѣсколько словъ. Если пропустить разрядъ банки D (фиг 19) черезъ длинную, свернутую въ спираль и тщательно изолированную проволоку и если вблизи ея находится вторая такая же спиральная проволока B, концы которой i и h приближены другъ къ другу хотя бы на разстояніи нѣсколькихъ миллиметровъ, то между этими концами появляется искра. Если концы взять въ руки, то чувствуется сотрясеніе. Вслѣдствіе изоляціи обѣихъ проволокъ о переходѣ электричества отъ первой спирали ко второй не можетъ быть и рѣчи. Разрядъ, проходя по первой проволокѣ, «индуктируетъ», т. е. возбуждаетъ мгновенный разрядъ и во второй, сосѣдней, проволокѣ.

Фиг. 20.



Если желаютъ накопить весьма большое количество электричества, то употребляютъ *Лейденскую батарею*, состоящую (фиг. 20) изъ нѣсколькихъ банокъ, соединенныхъ внутренними и внѣшними обкладками, изъ которыхъ послѣднія соединены еще съ землею цѣпочкою. Искра получается, если посредствомъ разрядника соединить внутреннія обкладки съ внѣшними.

ЛЕКЦІЯ III.

Источники электричества. Электрическія машины: электрофоръ, машина съ треніемъ, машины Гольца, Теплова и Армстронга. *Электроскопы и электрометры:* электроскопы Генлея, Фехнера и квадрантный Томсона; крутильные вѣсы, квадрантный и абсолютный электрометры Томсона. *Атмосферное электричество:* виды молніи, громоотводы, объясненія грозы. *Простѣйшія магнитныя явленія:* четыре основныя свойства магнитовъ и приведеніе ихъ къ одному Молекулярные магниты, теорія Вебера. *О земномъ магнитизмѣ:* склоненіе, наклоненіе и напряженіе; ихъ періодическія измѣненія, магнитныя бури.

Источники электричества.

Первый, уже разсмотрѣнный источникъ электричества — *треніе*. Но треніе не представляетъ единственнаго случая, когда тѣла принимаютъ электрическое состояніе. Существуютъ тѣла, которыя при *сжиманіи* обнаруживаютъ электрическое состояніе. Къ такимъ тѣламъ принадлежатъ: исландскій шпатъ, турмалинъ и нѣкоторыя другія.

Далѣе нѣкоторыя тѣла, какъ напр. турмалинъ, при *нагрѣваніи* электризуются; это электричество было названо *пироэлектричествомъ*. Долгое время явленіе это представлялось крайне страннымъ. Вѣдь нагрѣваніе есть понятіе относительное и всякое тѣло представляется нагрѣтымъ только сравнительно съ окружающими тѣлами. *Кантонъ* изслѣдовалъ это явленіе и объяснилъ впервые его сущность. Онъ показалъ, что на упомянутыхъ тѣлахъ является электрическое состояніе, смотря по тому, будутъ ли они нагрѣваться или охлаждаться, т. е. электрическое состояніе является только во время *измѣненія* температуры, такъ что не сама, такъ сказать, температура есть источникъ электричества. Въ то время, пока такое тѣло нагрѣвается, т. е. его температура растетъ, на однихъ мѣстахъ его поверхности является положительное, на другихъ отрицательное электричества. Если температура перестанетъ мѣняться и тѣло будетъ нагрѣто, тогда электрическое состояніе исчезаетъ. Когда тѣло охлаждается, вновь появляются оба электричества и при томъ (+), гдѣ былъ прежде (—), и наоборотъ.

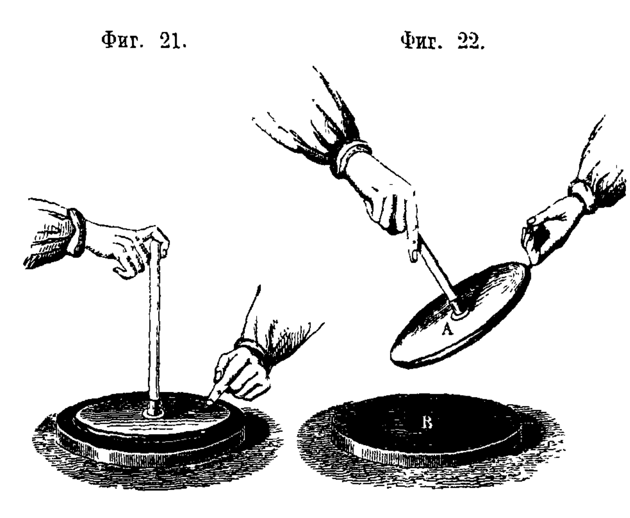
Четвертый источникъ электричества слѣдующій: если мы имѣемъ два металла, напр. мѣдь и желѣзо, спаянные въ какомъ нибудь мѣстѣ, и если этотъ спай мы будемъ нагрѣвать, то на одномъ металлѣ разовьется положительное, на другомъ—отрицательное электричество. Это такъ называемое *термоэлектричество*, которое впослѣдствіи будетъ разсмотрѣно подробно. Пятый источникъ электричества—*соприкосновеніе*. Оказывается, что есть многія тѣла, которыя, повидимому безо вся-

каго натиранія, сжиманія или нагрѣванія, приходятъ въ электрическое состояніе, если ихъ только привести въ соприкосновеніе. Если мѣдную и цинковую пластинки сложить и затѣмъ разнять, то на цинкѣ оказывается положительное, на мѣди отрицательное электричества; если металлъ привести въ соприкосновеніе съ кислотою, то на кислотѣ появится положительное, а на металлѣ отрицательное электричества. Будетъ-ли при этомъ играть роль одно только соприкосновеніе, или же химическое дѣйствіе между соприкасающимися тѣлами, это вопросъ, который до сихъ поръ не рѣшенъ.

Какъ на послѣдній источникъ электричества, укажемъ на такъ называемое *животное электричество*, проявляющееся внутри мышцъ и нервовъ животныхъ въ то время, когда мышцы или нервы дѣйствуютъ. Проявленіе этого электричества у нѣкоторыхъ животныхъ, напр. у гимнота или электрическаго угря, гнюса (torpedo) и африканской рыбы silurus electricus до того сильно, что онѣ разрядомъ электричества могутъ убить не только мелкихъ животныхъ, но даже человѣка.

Электрическія машины.

Мы видѣли, что треніемъ можно тѣла привести въ электрическое состояніе. Существуютъ особые приборы, которые служатъ для быстраго и сильнаго наэлектризованія тѣлъ — какъ иногда выражаются «для добыванія электричества». Эти приборы принято называть электрическими машинами. Самая простая изъ нихъ— электрофоръ.



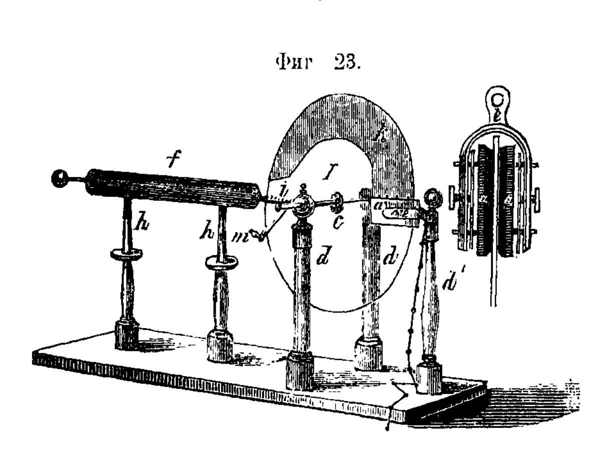
Фиг. 21. Фиг. 22.

Электрофоръ (фиг. 21 и фиг. 22) состоитъ изъ круглой пластинки *B*, сдѣланной изъ каучука или изъ смолистаго вещества, составленнаго по какому нибудь изъ многихъ, существующихъ для этого рецептовъ. Кромѣ того, имѣется круглая пластинка *A* папковая или деревянная, обклеенная оловяннымъ листомъ, которая посредствомъ рукоятки или помощью трехъ, или болѣе, шелковыхъ нитокъ можетъ быть опущена на перв ю пластинку, или приподнята. Мы

натираніемъ наэлектризуемъ нижнюю пластинку и затѣмъ опустимъ на нее верхнюю. Соприкосновеніе между пластинками произойдетъ вообще въ немногихъ точкахъ; во всѣхъ другихъ останется между ними нѣкоторый, хотя и весьма неширокій, промежутокъ. Такъ какъ *B* непроводникъ, то электричество по его поверхности перемѣщаться и перейти на *A* не можетъ. Дѣйствіемъ этого отрицательнаго электричества, по правилу индукціи, разложится нейтральное электричество верхней пластинки; къ нижней ея сторонѣ будетъ притянуто электричество неодноименное, т. е. положительное, а сверху соберется отрицательное. Если коснуться рукою верхней пластинки (фиг. 21), то отрицательное электричество уйдетъ въ землю, а положительное останется все еще притянутымъ къ нижней сторонѣ кружка. Если теперь приподнять кружекъ *A*, то положительное электричество сдѣлается свободнымъ и можетъ быть передано какому угодно прибору. Присутствіе этого электричества легко можно доказать получаемою при этомъ искрою. Изложенную манипуляцію можно повторить большое число разъ.

Переходимъ къ описанію *электрической машины съ треніемъ.* Она состоитъ (фиг. 23) изъ большаго стекляннаго круга *I*, вращающагося на горизонтальной оси около точки *c*. Съ одной стороны круга находятся двѣ деревянныя подушки *a*, обтянутыя замшею или кожею, покрытою амальгамою. Посредствомъ пружинъ эти подушки придавливаются къ стеклу (см. маленькій чертежъ рядомъ). Подушки соединены съ металлическимъ шаромъ, который посредствомъ цѣпочки соединенъ съ землею. Съ другой стороны стекляннаго круга находится продолговатое металлическое тѣло *f*, изолированное стеклянными ножками *h*, называемое кондукторомъ. Со стороны кондуктора, который обращенъ къ стеклу, находится металлическая вилка *i*, внутренняя сторона которой снабжена рядомъ горизонтальныхъ остріевъ, которыя направлены къ стеклу. Если рукояткою *m* вращать кругъ по направленію, на фиг. 23, обратному направленію движенія часовой стрѣлки, то на концѣ кондуктора получится накопленіе положительнаго электричества. При вращеніи стеклянный кругъ трется о подушки, вслѣдствіе чего онъ изъ-подъ подушекъ выходитъ положительно наэлектризованнымъ съ обѣихъ сторонъ. Отрицательное электричество съ подушекъ чрезъ цѣпочку уходитъ

Фиг 23.

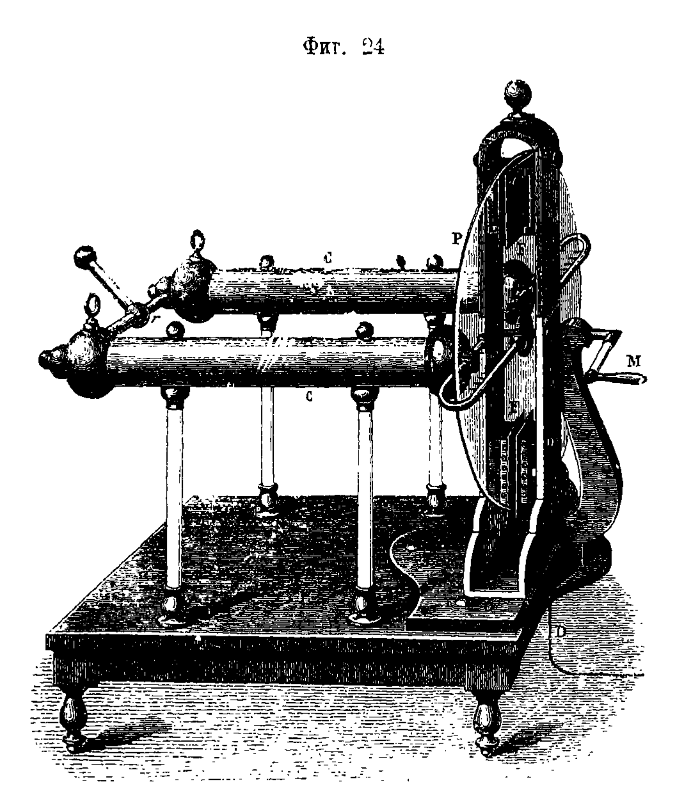


въ землю. При вращеніи круга положительное электричество со стекломъ переносится къ кондуктору. Въ кондукторѣ происходитъ индукція, т. е. нейтральное электричество въ немъ разлагается; къ стеклу притягивается электричество неодноименное, т. е. отрицательное; къ противоположному концу кондуктора гонится электричество одноименное, т. е. положительное. Какъ сказано, сторона кондуктора, обращенная къ стеклу, снабжена остріями, направленными къ стеклянному кругу. Мы видѣли (лекція II), что если электризуется проводникъ, снабженный остріями, то у послѣднихъ произойдетъ сильное разсѣеваніе. Поэтому отрицательное электричество кондуктора изъ остріевъ будетъ съ большою скоростію—если можно такъ выразиться—выливаться на стеклянный кругъ. Это произойдетъ по двумъ причинамъ: 1) потому, что электричество вообще на остріяхъ будетъ подвергаться сильному разсѣеванію; 2) потому, что отрицательное электричество, накопившееся на остріяхъ, будетъ еще въ добавокъ притягиваться положительнымъ электричествомъ, находящимся на стеклянномъ кругѣ. Итакъ, можно сказать, что изъ остріевъ льётся отрицательное электричество на стеклянный кругъ, вслѣдствіе чего на послѣднемъ, при соединеніи двухъ разноименныхъ электричествъ, происходитъ взаимное ихъ уничтоженіе и стекло выходитъ изъ-подъ остріевъ въ состояніи уже ненаэлектризованномъ. Продолжая вращать кругъ, мы достигаемъ непрерывнаго дѣйствія въ описанномъ смыслѣ: непрерывно колесо электризуется положительнымъ электричествомъ, непрерывно происходитъ индукція, отрицательное электричество нейтрализуетъ положительное электричество стекла и непрерывно положительное электричество гонится къ концу кондуктора. Соединяя шарикъ, находящійся на этомъ концѣ съ какимъ нибудь тѣломъ, и вращая при этомъ стеклянный кругъ, мы будемъ непрерывно гнать положительное электричество къ этому тѣлу и такимъ образомъ достигнемъ быстраго его наэлектризованія. Если соединить кондукторъ съ землею и подушки *a* съ тѣломъ, то послѣднее электризуется отрицательно. Не нужно думать, что при продолжительномъ вращеніи колеса на концѣ кондуктора могло бы накопиться чрезвычайно большое количество электричества. Весьма скоро разсѣеваніе сдѣлается такъ велико, что, сколько бы мы ни вращали кругъ, плотность электричества уже не увеличится болѣе, потому что, сколько будетъ притекать электричества, столько же будетъ разсѣеваться въ воздухъ. Видоизмѣненіе электрической машины съ треніемъ представлено на фиг. 24. Треніе стекла о подушки происходитъ въ двухъ мѣстахъ, на верху и внизу, и въ двухъ же мѣстахъ кругъ обхваченъ вилками (справа и слѣва). Машина съ треніемъ въ настоящее время мало употребляется и скоро будетъ представлять почти только историческій интересъ.

Въ послѣднее время получила всеобщее распространеніе *электрическая машина Гольца*, которая основана на совершенно другихъ на-

чалахъ, чѣмъ машина съ тренiемъ. Прежде всего, впрочемъ, слѣдуетъ признаться, что точной теорiи того, что происходитъ при дѣйствiи этой машины, до сихъ поръ не существуетъ; распредѣленiе частей ея было найдено ощупью и хотя можно дать болѣе или менѣе ясный отчетъ о нѣкоторыхъ несомнѣнныхъ явленiяхъ, въ ней происходящихъ, тѣмъ не менѣе нельзя сомнѣваться, что когда эта машина работаетъ, то въ ней происходитъ еще и кое-что другое, о чемъ мы яснаго представленiя не имѣемъ.

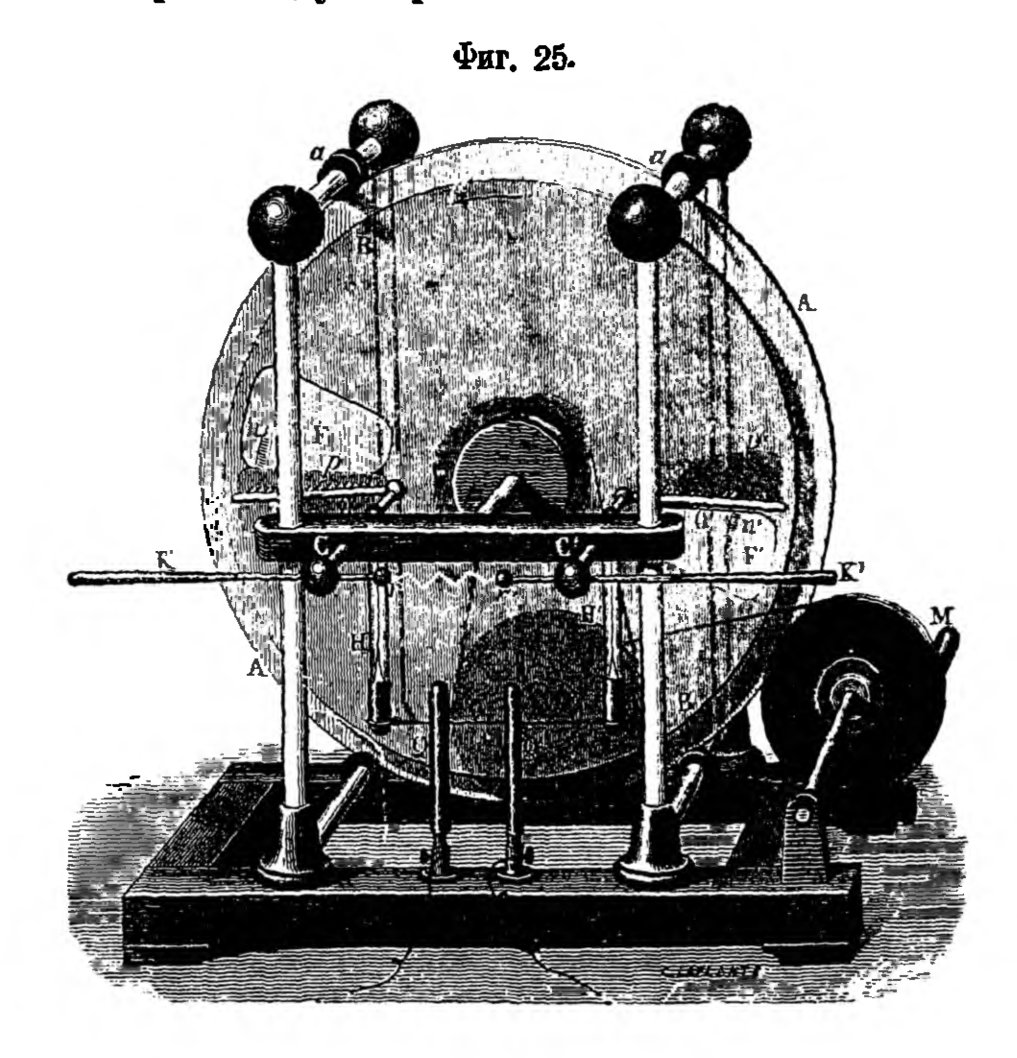
Фиг. 24



Машина Гольца (фиг. 25) состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ круговъ, одного задняго A, въ которомъ сдѣланы два овальныхъ вырѣза F и F', и втораго B, нѣсколько меньшаго дiаметра. Заднiй стеклянный кругъ неподвиженъ; на задней его сторонѣ наклеены два листка бумаги p и p', оканчивающiеся двумя острiями n и n', проходящими черезъ вырѣзы и обращенными къ подвижному кругу. Подвижное стекло приводится въ быстрое вращенiе около горизонтальной оси помощью рукоятки и двухъ или трехъ, соединенныхъ веревками, блоковъ. Два металлическихъ горизонтальныхъ стержня k и k' съ одной стороны оканчиваются подвижными шариками r и r', которые можно привести въ соприкосновенiе или удалить другъ отъ друга. Они соединены съ вилками O и O'. Если наэлектризованный каучукъ держать около одной изъ бумажекъ и въ это время быстро вращать кругъ B, то машина начинаетъ дѣйствовать и результатомъ явится то, что на одномъ изъ шаровъ r или r' появится положительное электричество, а на другомъ отрицательное. Когда это дѣйствiе началось, тогда можно удалить каучукъ; продолжая вращать колесо, мы будемъ получать постоянно на одномъ изъ шаровъ положительное, на другомъ отрицательное электричества: они мо-

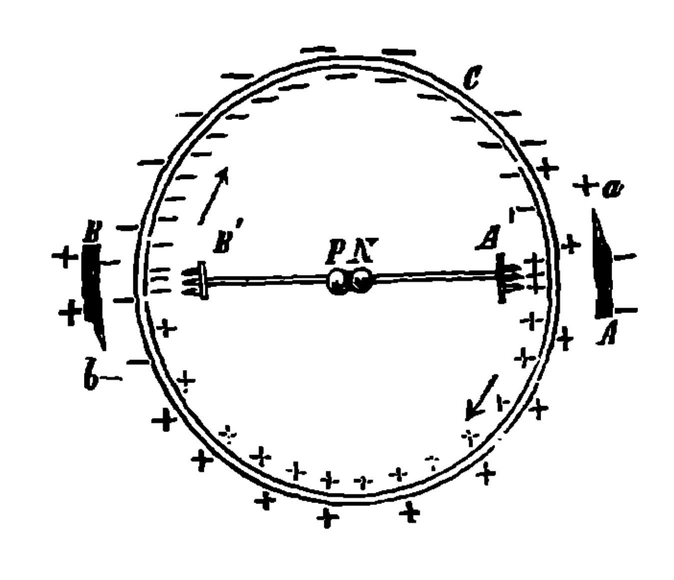
гутъ между собою соединяться, что̀ и представляетъ явленіе непрерывнаго теченія искръ между шариками r и r'.

Фиг. 25.



Преимущество этой машины заключается, прежде всего, въ томъ, что она даетъ гораздо болѣе обильное количество электричества и затѣмъ, что чрезвычайно удобно получать положительное или отрицательное электричество.

Фиг. 26.



Постараемся объяснить, на сколько это возможно, дѣйствіе машины Гольца. Для этого сдѣлаемъ схематическій чертежъ (фиг. 26), въ которомъ подвижной кругъ замѣненъ круглою трубкою, внутренняя сторона которой (гдѣ стрѣлки) соотвѣтствуетъ передней, наружная—задней сторонамъ круга. Задній неподвижный кругъ вовсе не изображенъ на чертежѣ. Пусть A и B изображаютъ схематически двѣ бумажки съ остріями. Два шара r и r' на фиг. 25, здѣсь изображены въ P и N; острія O и O' на фиг. 25 здѣсь въ A' и B', обращены къ передней сторонѣ стекла.

Прикосновенiемъ натертаго каучука мы сначала электризуемъ одну изъ этихъ бумажекъ, напр. A, отрицательно, а затѣмъ начинаемъ вращать колесо по направленiю движенiя часовой стрѣлки. Отрицательное электричество, находящееся на бумажкѣ A, производитъ индукцiю въ системѣ металлическихъ стержней $B'PNA'$, притягиваетъ въ сторону A положительное электричество, гонитъ въ сторону B' отрицательное. Положительное электричество будетъ литься изъ острiевъ A' на переднюю сторону стекла, а изъ острiевъ B' отрицательное электричество также будетъ выливаться на противуположную сторону стекла. Когда мы вращаемъ стеклянный кругъ, положительное электричество будетъ уноситься; но такъ какъ бумага остается наэлектризованною, то изъ A' будетъ непрерывно вытекать положительное электричество на стекло. Если мы повернемъ кругъ на полуоборотъ, то вся верхняя половина будетъ наэлектризована отрицательно, вся нижняя — положительно. Слѣдуетъ замѣтить, что электрическое состоянiе бумажекъ, если бы оно, какъ мы сейчасъ увидимъ, не поддерживалось, очень скоро бы прекратилось, отрицательное электричество скоро бы разсѣялось. Но вотъ что происходитъ: отрицательное электричество, находящееся на верхней половинѣ круга, приближаясь къ бумажкѣ A, производитъ съ своей стороны въ ней индукцiю, притягиваетъ положительное электричество къ острiю, а отталкиваетъ отъ себя отрицательное электричество; является какъ бы вторичный зарядъ отрицательнаго электричества на бумажкѣ A, электризацiя которой слѣдовательно усиливается, возобновляется. Нѣчто подобное происходитъ и съ бумажкою B; положительное электричество, которое снизу подходитъ, производитъ индукцiю въ бумажкѣ B, притягивая къ острiю b отрицательное,—электризуетъ эту бумажку положительнымъ электричествомъ. Теперь обѣ бумажки будутъ наэлектризованы: A отрицательно, B положительно; вслѣдствiе того, что зарядъ бумажки A усилился, усиливается и индуктивное ея дѣйствiе на металлическую систему $A'B'$, усиливается вытеканiе положительнаго электричества въ A' и отрицательнаго въ B'. Это вытеканiе электричества еще усиливается тѣмъ, что теперь, кромѣ бумажки A, дѣйствуетъ въ томъ же смыслѣ наэлектризованная положительно бумажка B. Продолжая вращать колесо, мы у A' получаемъ непрерывное вытеканiе положительнаго электричества, у B'—непрерывное вытеканiе отрицательнаго. Затѣмъ: вслѣдствiе того, что къ A сверху непрерывно подходитъ отрицательное электричество, непрерывно будетъ вновь и вновь усиливаться отрицательный зарядъ этой бумажки, положительное же электричество будетъ вытекать изъ острiя a на наружную сторону вращающагося круга и также будетъ переноситься къ бумажкѣ B, около которой будетъ происходить такое сильное вытеканiе отрицательнаго электричества изъ острiевъ B' на стекло, что произойдетъ не только нейтрализацiя положительнаго, но и появится на стеклѣ отрицательное электричество. Въ результатѣ

же будетъ: съ верхней стороны вращающійся кругъ электризованъ отрицательно, съ нижней — положительно; при этомъ будетъ поддерживаться сильное электрическое состояніе двухъ бумажекъ. Если мы теперь раздвинемъ шарики P и N, то все остается по прежнему, но индукція произойдетъ въ стержняхъ $B'P$ и NA' уже не какъ въ одномъ цѣломъ; бумажка B' заставитъ отрицательное электричество вытекать изъ остріевъ B', а положительное будетъ накопляться у шарика P; точно также бумажка A заставитъ положительное электричество вытекать изъ остріевъ A', а отрицательное будетъ накопляться у шарика N. Итакъ, мы имѣемъ непрерывное теченіе двухъ электричествъ—положительнаго къ шарику P и отрицательнаго къ шарику N.

Объясненіе дѣйствія машины Гольца, приведенное нами, имѣемъ право назвать одновременно безусловно вѣрнымъ и безусловно невѣрнымъ. Вѣрно оно потому, что все сказанное должно происходить именно такъ по хорошо извѣстному закону индукціи: но безусловно невѣрно это объясненіе потому, что оно слишкомъ узко. Несомнѣнно, что, кромѣ сказаннаго, при дѣйствіи машины Гольца происходитъ еще кое-что другое. Легко замѣтить въ нашемъ объясненіи сильный пробѣлъ: о роли задняго стекляннаго круга, неподвижнаго, совсѣмъ не упомянуто, изъ чего можно, пожалуй, вывести заключеніе, что онъ вовсе не нуженъ — что онъ служитъ единственно только для прикрѣпленія къ нему бумажекъ. А между тѣмъ несомнѣнно, что его значеніе гораздо большее, но неизвѣстно, какую онъ собственно играетъ роль. Можетъ быть, онъ просто не даетъ воздуху быстро двигаться около задней стороны подвижнаго круга, уменьшая этимъ разсѣеваніе электричества.

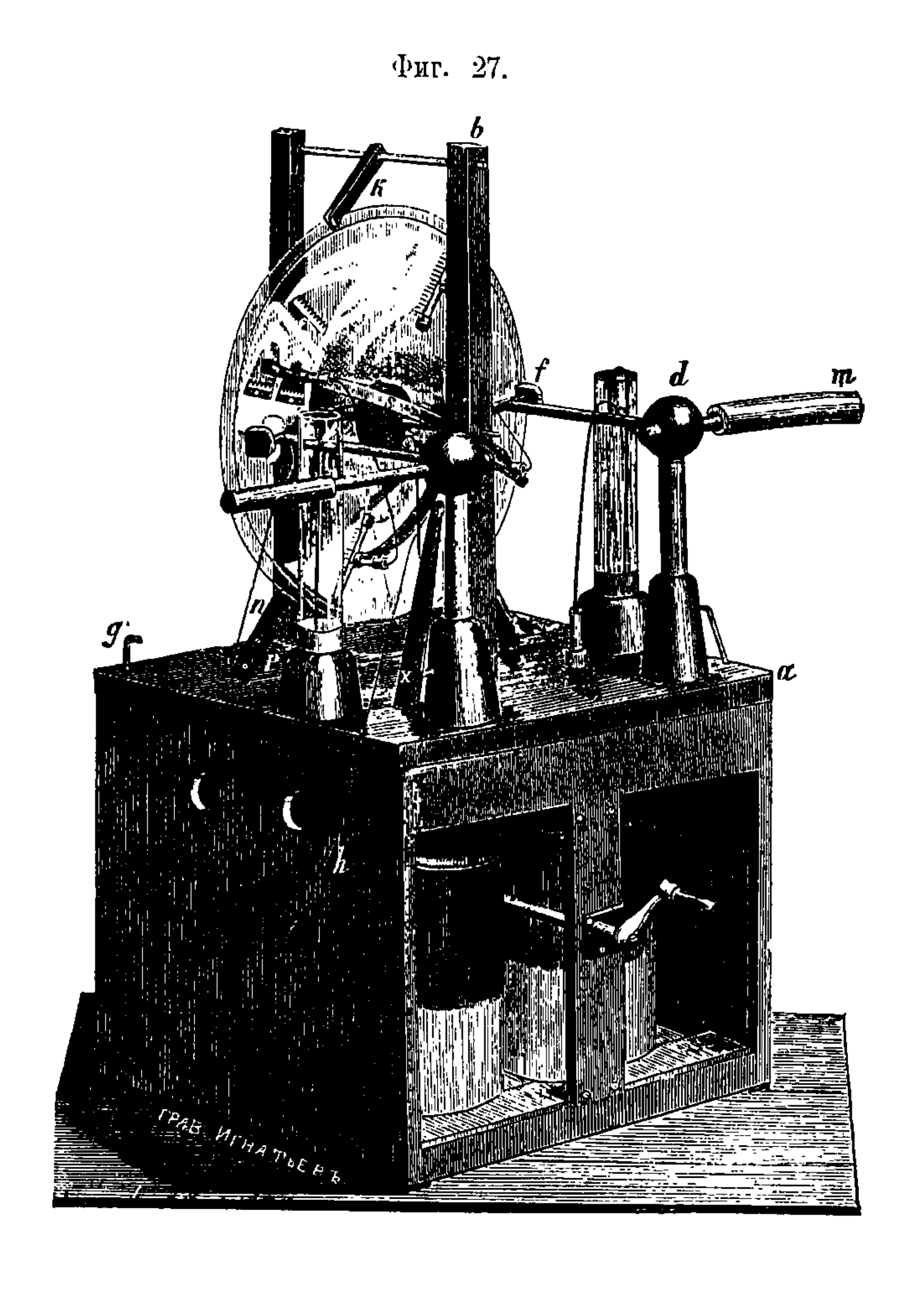
Кондукторы машины Гольца соединяютъ съ двумя лейденскими банками для полученія яркихъ искръ между шариками. Для избѣжанія быстраго прекращенія дѣйствія машины, когда шарики раздвинуты, Гольцъ придумалъ такъ называемый діаметральный кондукторъ, объ устройствѣ и роли котораго распространяться не будемъ. Гольцъ построилъ также машины съ однимъ неподвижнымъ и двумя подвижными стеклянными кругами, машины съ двумя вращающимися въ противоположныя стороны кругами, безъ неподвижнаго и безъ бумажныхъ полосъ. *Теплеръ*, *Шведовъ*, *Томсонъ* и др. изобрѣли также электрическія машины безъ тренія. Особенный интересъ представляетъ машина *М. Н. Теплова*, одна изъ разновидностей которой изображена на фиг. 27; въ ней шесть гребенокъ. По нашей просьбѣ М. Н. Тепловъ сообщилъ слѣдующее указаніе на сущность выдающихся особенностей его машины:

«Чтобы заряженная машина продолжала дѣйствовать, нужно поддерживать наэлектризованное состояніе элементовъ (т. е. бумажекъ). Это дѣлаетъ вращаемое стекло, подходя къ зубу, въ наэлектризованномъ состояніи. Въ моихъ машинахъ расположеніе дополнительныхъ гребенокъ таково, что даетъ возможность значительно увеличивать наэлектризо-

ванное состоянiе вращаемаго стекла въ тотъ именно моментъ, когда оно подходитъ къ зубу. Чрезъ это увеличивается напряженiе электричества въ элементахъ, а слѣдовательно и добыча электричества чрезъ посредство машины.

«На вращаемомъ стеклѣ, когда оно уже пройдетъ мимо прiемной гребенки остается большое скопленiе разнородныхъ электричествъ, которое не только не нужно для хорошаго дѣйствiя машины, а напротивъ

Фиг. 27.

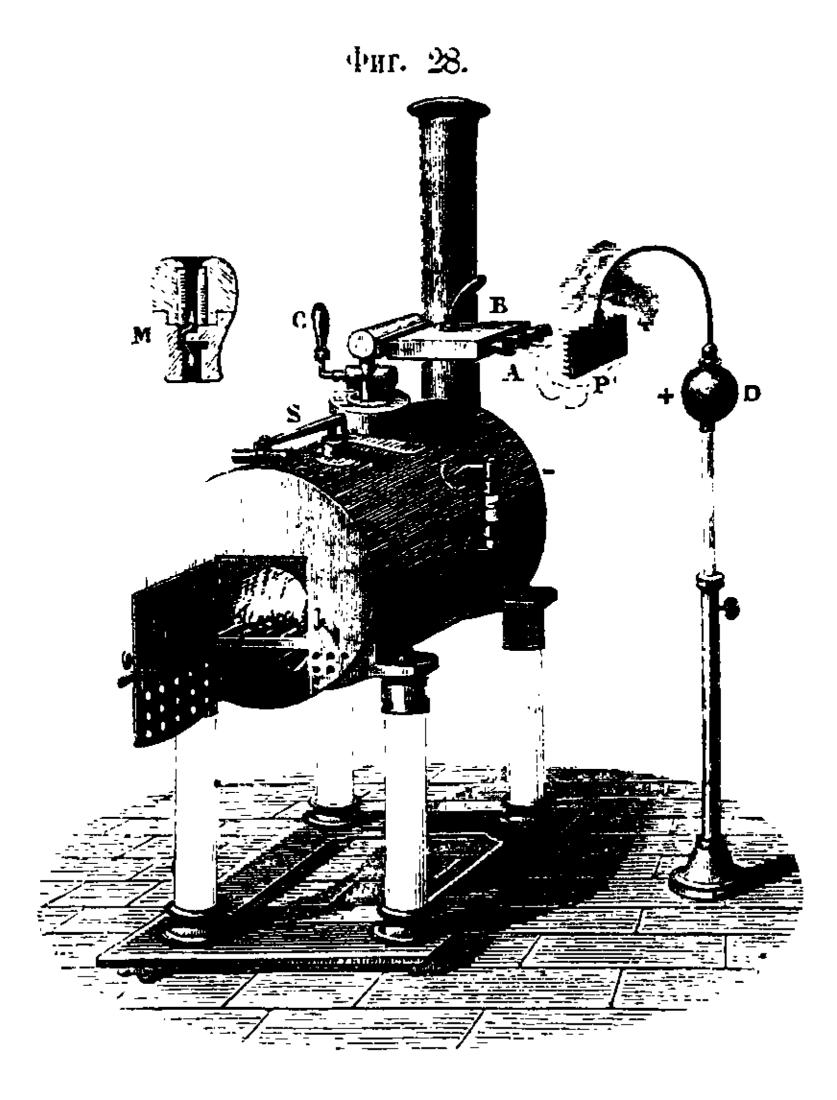


вредно. Гольцъ уничтожаетъ это скопленiе чрезъ посредство такъ называемаго дiаметральнаго кондуктора, соединяя скопленiе (+) со скопленiемъ (—), я же это скопленiе разнородныхъ электричествъ не уничтожаю, а употребляю съ пользой, переводя изъ тѣхъ мѣстъ, гдѣ скопленiе электричествъ вредно, въ тѣ мѣста, гдѣ это скопленiе полезно».

Дальнѣйшiя подробности можно найти въ брошюрѣ г. Теплова «Теорiя и новая конструкцiя электрофорныхъ машинъ». С.-Петербургъ 1875 г.

Укажемъ еще на электрическую машину *Армстронга*, основанную на томъ, что влажный паръ, выходящій подъ большимъ давленіемъ черезъ узкія и колѣнчатыя трубки, электризуется положительно вслѣдствіе тренія капель о стѣнки трубки. Машина Армстронга (фиг. 28) состоитъ изъ пароваго котла около 0,8 метра длины и 0,4 метра въ поперечникѣ, установленнаго на четырехъ стеклянныхъ столбахъ. Для успѣшнаго дѣйствія давленіе пара должно доходить до 5 или 6 атмосферъ. Отворяя кранъ *C*, впускаютъ паръ въ коробку *B*, гдѣ онъ, проходя по системѣ трубокъ, электризуется. Выходящая изъ отверстій *A* струя пара сообщаетъ электрическое состояніе вилкѣ *P*, откуда оно передается изолированному шару *D*, играющему роль кондуктора. Котелъ въ то же время электризуется отрицательно.

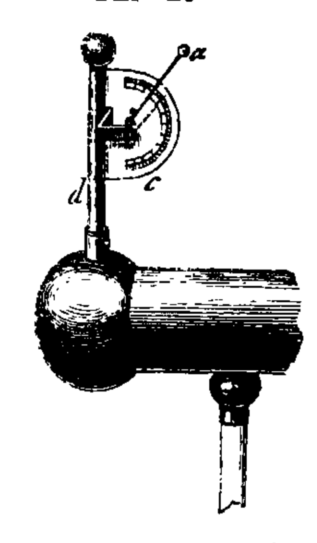
Фиг. 28.



Электроскопы и электрометры.

Переходимъ къ описанію приборовъ, служащихъ для обнаруженія присутствія электричества и для измѣренія количествъ электричества,— къ *электроскопамъ и электрометрамъ*. Простѣйшій электроскопъ уже былъ нами разсмотрѣнъ; онъ состоитъ изъ двухъ, взаимно отталкивающихся листочковъ сусальнаго золота (фиг. 5, стр. 10).

Фиг. 29.

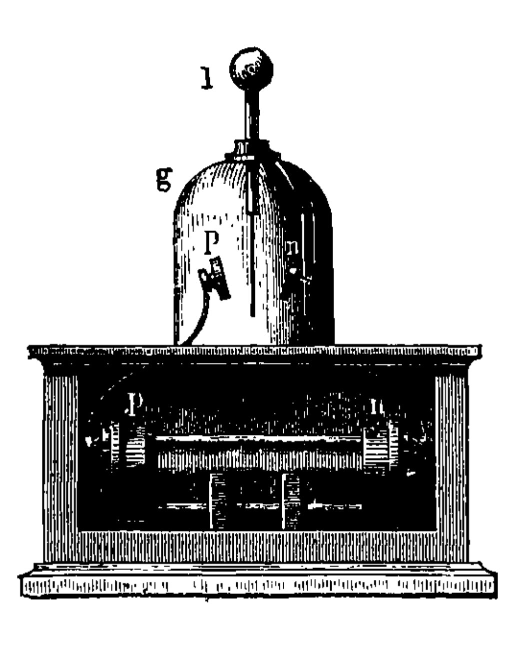


Для указанія присутствія большихъ зарядовъ электричества можетъ служить электроскопъ *Генлея* (фиг. 29), состоящій изъ металлическаго столбика *d*, къ которому сбоку привѣшана проволочка съ грузикомъ *a*. Устанавливая приборчикъ хотя бы на кондукторѣ электрической машины, мы по отклоненію проволочки въ сторону можемъ судить о правильности дѣйствія машины (см. также фиг. 20).

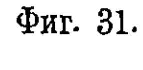
Электроскопъ Фехнера съ такъ называемымъ *сухимъ столби-*

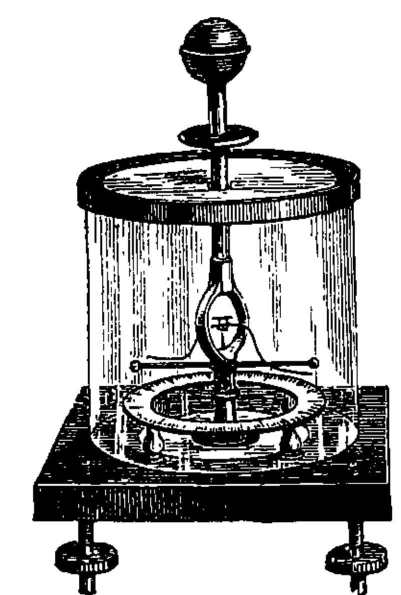
комъ устраивается слѣдующимъ образомъ. Изъ бумагъ, продаваемыхъ подъ названіями золотой и серебряной, изъ которыхъ первая покрыта сплавомъ мѣди съ цинкомъ, а вторая—сплавомъ олова съ цинкомъ, вырѣзаны кружки, которые сложены рядомъ, составляя столбикъ. Отъ соприкасанія другъ къ другу разнородныхъ металловъ, можетъ быть вслѣдствіе какой-либо химической реакціи, происходитъ слабое выдѣленіе электричества. Если положить такой столбикъ въ стеклянной трубкѣ (фиг. 30) горизонтально и соединить концы его съ металлическими пластинками p и n, то одна изъ нихъ будетъ непрерывно электризована положительно, а другая—отрицательно, хотя и весьма слабо.

Фиг. 30.



Фиг. 31.





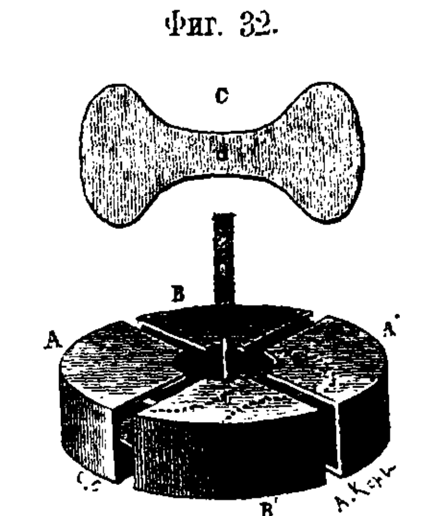
Золотой листочекъ, повѣшенный какъ разъ въ серединѣ между этими двумя пластинками, остается неподвижнымъ, потому что онъ одинаково сильно притягивается обѣими пластинками. Если же мы верхній шарикъ, находящійся въ металлическомъ сообщеніи съ золотымъ листочкомъ, приведемъ въ соприкосновеніе съ тѣломъ, даже весьма слабо наэлектризованнымъ, такъ что листочекъ наэлектризуется, напр. положительно, то онъ тотчасъ же будетъ одновременно притягиваться правою и отталкиваться лѣвою пластинками. Сторона, въ которую онъ качнется, покажетъ слѣдовательно, какое электричество находится на испытуемомъ тѣлѣ: если листочекъ качнется къ пластинкѣ, наэлектризованной положительно, испытуемое тѣло было наэлектризовано отрицательно и наоборотъ. До какой степени чувствителенъ этотъ приборъ, можно видѣть изъ того, что листочекъ начинаетъ качаться, если мы будемъ махать наэлектризованною каучуковою пластинкою на значительномъ разстояніи отъ прибора.

Одинъ изъ многочисленныхъ и разнообразныхъ электрометровъ (Пелтье) изображенъ на фиг. 31. Въ немъ электрическій зарядъ передается горизонтальному стержню и легкоподвижной магнитной стрѣлкѣ, которая, вслѣдствіе понятнаго отталкиванія отъ стержня, уклоняется въ сторону. Величина этого уклоненія и можетъ служить мѣрою величины изслѣдуемаго заряда.

Гораздо чувствительнѣе *квадрантный электроскопъ В. Томсона.* Онъ состоитъ изъ четырехъ металлическихъ пластинокъ, изъ которыхъ

каждая составляетъ ¼ круга, т. е. квадрантъ. Эти квадранты соединены между собою, какъ видно изъ побочнаго чертежа $A\ B\ C\ D$ около фиг. 36 крестъ-на-крестъ, т. е. первый съ третьимъ, второй съ четвертымъ. Надъ этими четырьмя пластинками, установленными горизонтально, виситъ продолговатая тоненькая пластинка *nn* бисквитообразной формы. Одна изъ паръ квадрантовъ соединяется проволокой съ постояннымъ источникомъ положительнаго электричества, другая—съ такимъ же источникомъ отрицательнаго электричества, такъ что одна пара непрерывно наэлектризована положительно, а другая столь же сильно—отрицательно. Бисквитообразная стрѣлка *nn* (см. тоже *a* на фиг. 34) устанавливается приблизительно въ положеніи, указанномъ на фиг. 34; она виситъ на металлической проволокѣ и такъ какъ она съ обѣихъ сторонъ будетъ одинаково сильно притягиваться, то остается неподвижною. Если соединить эту проволоку съ весьма слабымъ источникомъ электричества, присутствіе котораго другой электроскопъ не отмѣтитъ, то стрѣлка *nn* наэлектризуется, положимъ, отрицательно; тогда каждый ея конецъ съ одной стороны будетъ притягиваться, а съ другой — отталкиваться. Стрѣлка вслѣдствіе этого отклонится отъ самаго слабаго электризованія. Въ другихъ приборахъ Томсона каждая изъ четвертей круга замѣнена какъ бы четвертью металлической коробки (фиг. 32). Двѣ четверти A и A' наэлектризовываются хотя-бы положительно, двѣ другія четверти B и B' отрицательно. Бисквитообразная стрѣлка, висящая внутри коробки (на чертежѣ обозначена отчасти пунктиромъ), подвержена вслѣдствіе этого электрическимъ дѣйствіямъ не только снизу, но и сверху и сбоку.

Фиг. 32.

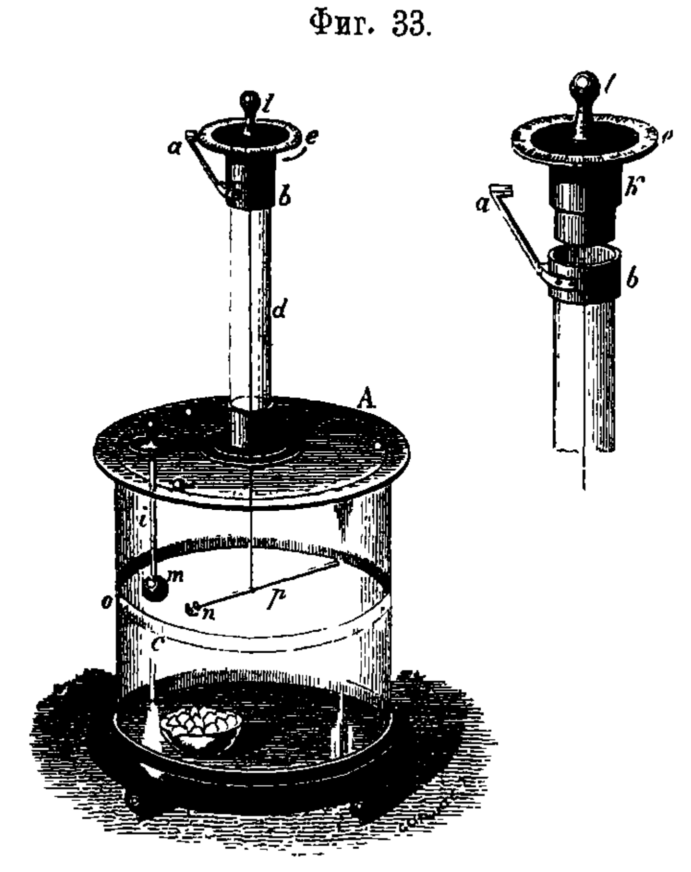


Для измѣренія электрическаго напряженія, для сравненія между собою нѣсколькихъ источниковъ электричества, служатъ другаго рода приборы, называемые *электрометрами*.

Простѣйшій видъ электрометра представляютъ *крутильные вѣсы*, состоящіе изъ стекляннаго цилиндра (фиг. 33), надъ срединою котораго поставлена стеклянная трубка *d*; внутри этой трубки проходитъ металлическая нитка, на которой виситъ горизонтально легкій шеллаковый стерженекъ *p*. Къ одному концу послѣдняго прикрѣпленъ позолоченный шарикъ *n*. Черезъ крышку стекляннаго цилиндра можетъ быть вставленъ во внутрь его другой стержень, на нижнемъ концѣ котораго также имѣется шарикъ *m*. Если этотъ шарикъ привести въ соприкосновеніе съ наэлектризованнымъ тѣломъ, то онъ самъ наэлектризуется; если его затѣмъ быстро вставить во внутрь цилиндра и привести въ соприкосновеніе съ подвижнымъ *n*, то часть электричества перейдетъ отъ *m*

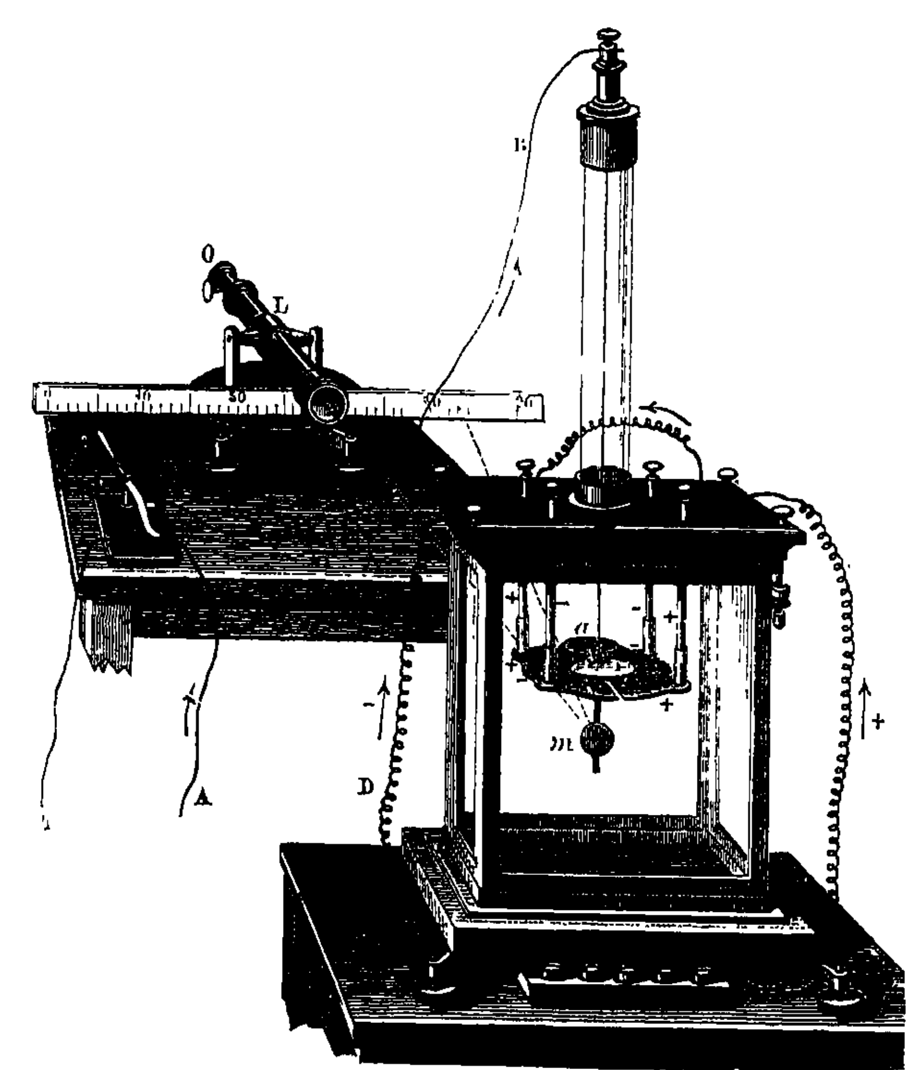
къ *n* и произойдетъ взаимное отталкиваніе этихъ двухъ шариковъ, причемъ горизонтальный стержень повернется въ сторону и проволочка, на которой онъ виситъ, будетъ закручиваться. По дѣленіямъ, сдѣланнымъ на бумажной лентѣ *c* (фиг. 33), можно судить о томъ углѣ, на который проволока закрутилась, отсюда о силѣ, съ которою отталкиваются шарики *m* и *n*, и наконецъ о напряженіи электричества, находящагося на шарикѣ *m*, которое будетъ пропорціально напряженію электричества въ томъ мѣстѣ, съ которымъ мы шарикъ *m* предварительно привели въ соприкосновеніе.

Фиг. 33.



Квадрантный электроскопъ *Томсона* можетъ сдѣлаться *электрометромъ*, если особымъ приспособленіемъ доводить электризацію квадрантовъ всегда до одной и той же степени. Тогда измѣреніе отклоненія стрѣлки *a* (фиг. 34), снабженной зеркальцемъ (способъ измѣренія отклоненія будетъ изложенъ въ пятой лекціи), опредѣлитъ напряженіе электричества на испытуемомъ тѣлѣ.

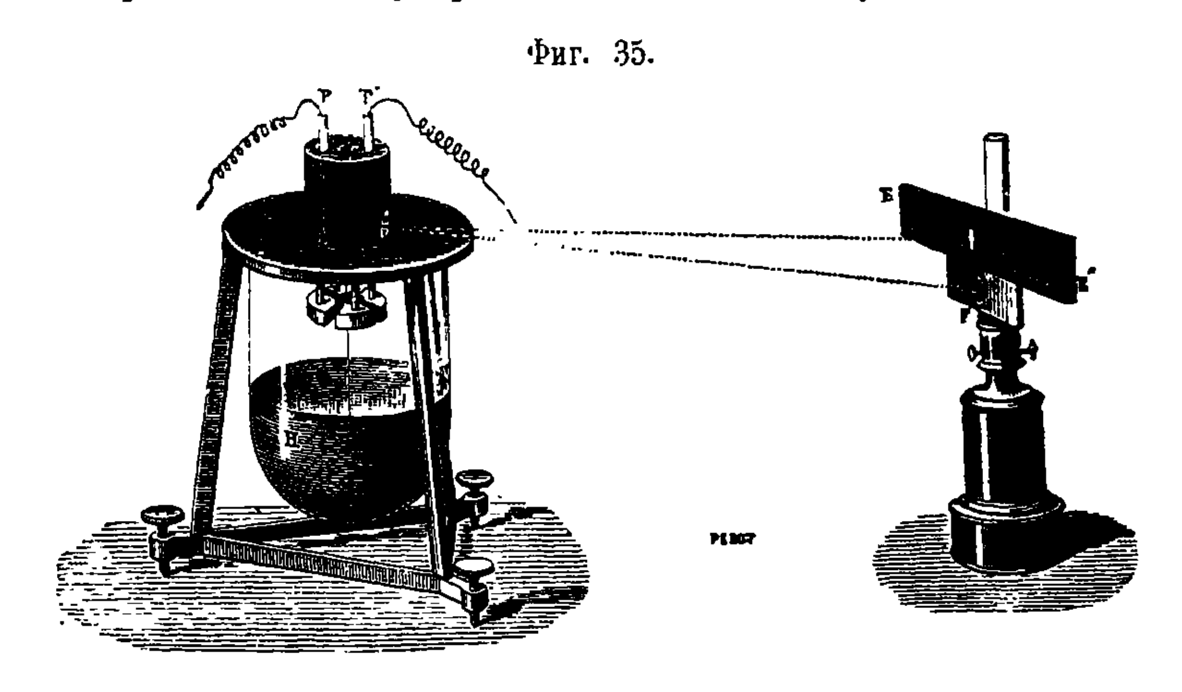
Фиг. 34.



На фиг. 34 изображено видоизмѣненіе, предложенное *Бранли*. На фиг. 35 изображена первоначальная, а на фиг. 36 новѣйшая форма квадрантнаго электрометра *Томсона*. Стрѣлка виситъ внутри коробки того вида, какой изображенъ на фиг. 32; *m* есть зеркальце, вращенія котораго измѣряютъ величину изслѣдуемаго

заряда; *ff* стеклянный сосудъ, содержащій сѣрную кислоту. Въ дальнѣйшія подробности его устройства входить не будемъ.

Фиг. 35.



На совершенно другомъ началѣ основанъ такъ называемый *абсо-*

Фиг. 36.

лютный электрометръ В. Томсона, который служитъ для непосредственнаго измѣренія напряженія источниковъ электричества въ обыкновенныхъ единицахъ силы, т. е. хотя бы въ граммахъ. Приборъ этотъ состоитъ изъ 2-хъ горизонтальныхъ металлическихъ пластинокъ, изъ которыхъ каждая можетъ быть приподнята или опущена внизъ; верхняя пластинка виситъ на пружинѣ. Если мы наложимъ на эту пластинку опредѣленный грузъ, то пружина растянется и пластинка опустится внизъ. Сбоку имѣются значки, дающіе возможность опредѣлить положеніе подвижной пластинки. Посредствомъ винта приподнимаемъ ее до прежняго положенія и затѣмъ снимаемъ грузъ. Пластинка теперь поднимется выше, но намъ извѣстна та сила (въ граммахъ), которая потребна, чтобъ вновь опустить ее до первоначальнаго ея положенія. Не трудно составить табличку, въ которой, для разныхъ высотъ поднятія пластинки, можно найти, какая требуется сила для того, чтобы пластинка опустилась опять до первоначальнаго положенія. Верхняя пластинка соединяется съ постояннымъ источникомъ электричества, — положимъ, съ источникомъ положительнаго электричества. Другой источникъ, который мы желаемъ изслѣдовать, мы соединяемъ съ нижнею пластинкою, которая, слѣдовательно, также электризуется. Обѣ пластинки должны всегда быть наэлектризованы разноименно. Положимъ, что верхняя пластинка была сперва приподнята на столько, что требуется 1 граммъ силы для того, чтобы спустить ее внизъ въ прежнее положеніе (что видно изъ таблички). Вслѣдствіе взаимнаго притяженія пластинокъ, верхняя начнетъ опускаться. Тогда приподнимаютъ нижнюю до тѣхъ поръ, пока верхняя опустится какъ разъ до своего прежняго положенія. Тогда сила взаимодѣйствія двухъ наэлектризованныхъ пластинокъ будетъ какъ разъ равняться одному грамму. Пусть разстояніе пластинокъ при этомъ равно d. Если нижнюю пластинку соединить съ другимъ источникомъ электричества, то этотъ же результатъ, т. е. та же сила притяженія между пластинками, проявится при другомъ между ними разстояніи D. Теорія показываетъ, что напряженія сравниваемыхъ источниковъ пропорціональны этимъ разстояніямъ.

Объ атмосферномъ электричествѣ.

Сама природа заключаетъ въ себѣ богатые источники электричества. Верхніе слои атмосферы — какъ показываютъ изслѣдованія, сдѣланныя особеннымъ образомъ видоизмѣненными электроскопами—всегда наэлектризованы и притомъ большею частію положительнымъ электричествомъ. При ясномъ, безоблачномъ небѣ, особенно въ холодное время, атмосфера наэлектризована почти всегда положительнымъ электричествомъ. Когда небо покрыто облаками, во время тумана, нерѣдко замѣчается присутствіе въ атмосферѣ отрицательнаго электричества. Во время грозы знакъ

электричества (+или—), присутствующаго въ атмосферѣ, чрезвычайно быстро мѣняется, переходя отъ отрицательнаго къ положительному и обратно. Огромное накопленіе электричества происходитъ въ такъ называемыхъ грозовыхъ тучахъ. Извѣстно, что электрическая природа грозы была впервые доказана въ 1752 г. *Веньяминомъ Франклиномъ*. На грозовыя тучи обыкновенно смотрятъ, какъ на тѣла, наэлектризованныя одноименнымъ электричествомъ; онѣ производятъ на сосѣдней тучѣ индукцію, причемъ на ближайшей ея сторонѣ накопляется разноименное электричество. При достаточно большомъ напряженіи можетъ произойти соединеніе двухъ электричествъ, т. е можетъ послѣдовать сильный разрядъ въ видѣ искры; это и есть молнія. Индукція можетъ произойти и на поверхности земли; тогда, въ случаѣ разряда, поражаются предметы, находящіеся на земной поверхности.

Молнія представляется въ трехъ различныхъ видахъ—на чтò впервые указалъ *Араго*. 1) Молнія *въ видѣ стрѣлы*, т. е. узкою, ослѣпительною, съ зигзагами, полосою. Этотъ видъ ея наиболѣе извѣстенъ. 2) *Широкая молнія* представляется въ видѣ громадной вспышки за облаками. 3) *Шаровыя молніи*, очень рѣдко наблюдаемыя, но безъ всякаго сомнѣнія существующія. Онѣ представляются въ видѣ огненнаго шара, чтò самое замѣчательное, движущагося чрезвычайно медленно, т. е., примѣрно, со скоростію медленно шагающаго человѣка. Очень много примѣровъ наблюденій, собранныхъ Араго въ его сочиненіи «Громъ и молнія», показываютъ, что въ реальности существованія шарообразной молніи сомнѣваться не возможно.

Не слѣдуетъ думать, что молнія имѣетъ опредѣленное направленіе движенія; если намъ кажется, что молнія представляется стрѣлою, пролетающею сверху внизъ или справа на лѣво, то это не болѣе какъ оптическій обманъ. Въ дѣйствительности молнія одновременно появляется во всѣхъ мѣстахъ, чрезъ которыя она проходитъ, и она продолжается лишь столь малую долю секунды, что мы не могли бы даже замѣтить, что она въ одномъ мѣстѣ появляется раньше, чѣмъ въ другомъ. Молнія представляетъ собою искру, т. е. свѣченіе воздуха, накалившагося до весьма высокой температуры, вслѣдствіе того, что въ немъ произошелъ электрическій разрядъ. Понятно, что этотъ разрядъ имѣетъ мѣсто почти одновременно во всѣхъ мѣстахъ.

Относительно дѣйствій молній распространяться нечего, такъ какъ они общеизвѣстны. Это главнымъ образомъ дѣйствія тепловыя и механическія — т. е. тѣла отъ дѣйствія молніи нагрѣваются, зажигаются, а напр. металлы расплавляются; далѣе происходятъ нерѣдко разрывъ, разломъ и разбрасываніе предметовъ. Въ 1809 г. ударомъ молніи была сдвинута стѣна, 3 фут. толщины и 12 футовъ вышины, состоявшая изъ 7000 камней, вѣсомъ всего въ 52.000 п.; одинъ конецъ стѣны перемѣстился на 4, другой на 9 футовъ.

Громоотводъ обыкновенно состоитъ изъ металлическаго стержня, верхній, пріостренный, конецъ котораго устанавливается вертикально на крышѣ и нижній конецъ котораго углубляется въ землю. Дѣйствіе его слѣдующее: когда надъ землею находится туча, наэлектризованная хотя бы положительнымъ электричествомъ, то на поверхности земли, вслѣдствіе индукціи, скопляется электричество отрицательное. На основаніи выше изложенныхъ дѣйствій остріевъ, электричество быстро набирается на верхнемъ концѣ громоотвода и столь же быстро оттуда разсѣевается. Такимъ образомъ, отрицательный зарядъ земли будетъ быстро разсѣеваться, количество отрицательнаго электричества на землѣ будетъ уменьшаться, и слѣдовательно уменьшается вѣроятность разряда между атмосфернымъ электричествомъ и электричествомъ, индуктированнымъ на поверхности земли. Кромѣ того, громоотводъ играетъ важную роль, какъ хорошій проводникъ, т. е. если уже произойдетъ электрическій разрядъ, то онъ пройдетъ чрезъ металлическій стержень, а не чрезъ сосѣднія части зданія.

Пороховые погреба заграницею предохраняются отъ удара молніи громоотводами, поставленными не надъ зданіемъ, но около зданія, которое со всѣхъ сторонъ окружается цѣпью громоотводовъ, соединенныхъ подъ землею системою толстыхъ металлическихъ проволокъ.

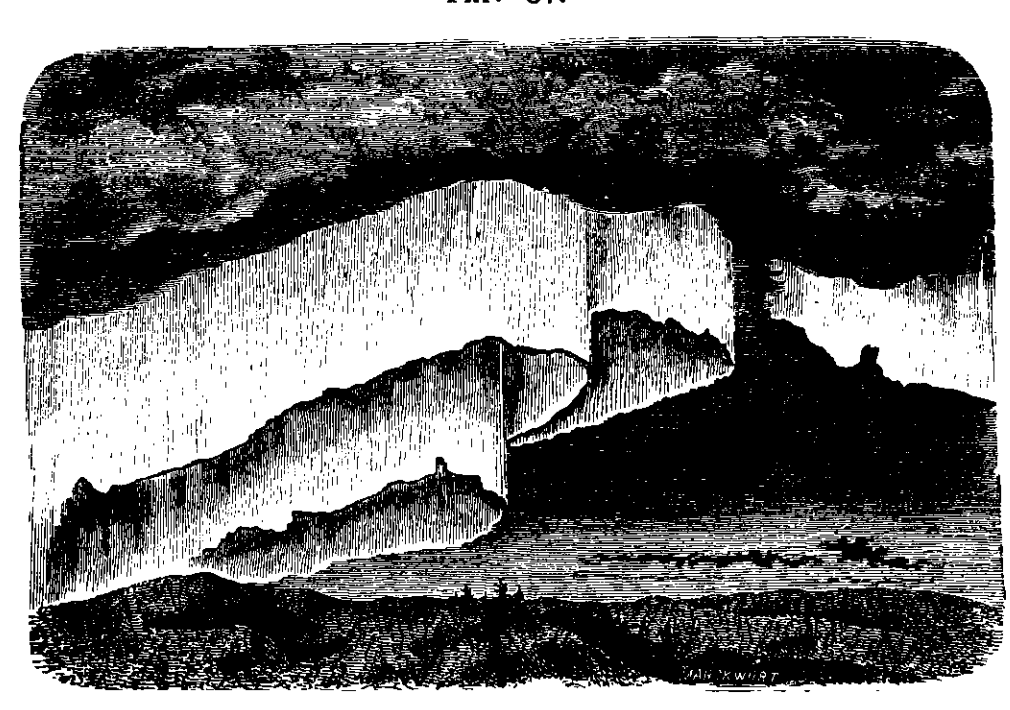
Въ настоящее время на западѣ все болѣе и болѣе входитъ въ употребленіе способъ предохраненія зданій отъ удара молніи, предложенный впервые *Мельсаномъ* въ Бельгіи: все зданіе какъ бы окутывается со всѣхъ сторонъ сѣткою большаго числа невысокихъ остріевъ и проволокъ, соединенныхъ во многихъ мѣстахъ съ газо-и водопроводными трубами. Мы видѣли, что тѣла, находящіяся внутри металлической сѣтки, совершенно охранены отъ всякаго внѣшняго дѣйствія электричества.

Объ источникѣ атмосфернаго электричества до сихъ поръ абсолютно ничего не извѣстно. Существуетъ чрезвычайно большое число разныхъ предположеній относительно этого источника и, между прочимъ, продолжительное время существовало мнѣніе, что при испареніи воды происходитъ одновременная электризація какъ поверхности земли, такъ и образующихся паровъ, короче, что испареніе есть источникъ электричества. Но въ настоящее время весьма многими изслѣдованіями доказано, что испареніе воды не есть источникъ электричества (послѣднія Фримана въ Америкѣ 1882 г.). Существовало далѣе предположеніе, что электричество происходитъ отъ электромагнитнаго дѣйствія вращающейся земли, отъ дѣйствія луны, отъ химическихъ реакцій, происходящихъ внутри растеній, когда они произрастаютъ и т. д. Все это гипотезы, почти ничѣмъ не поддерживаемыя.

Трудно сказать даже, какъ нужно понимать происхожденіе молніи. Мы говорили, что грозовая туча сильно наэлектризована. Но недавно, въ 1882 г., *Спрингомъ* предложена новая гипотеза о происхожденіи

молніи, а именно, что сильная электризація воздуха происходитъ только въ моментъ образованія града и тотчасъ же уничтожается разрядомъ, т. е. молніей. Между прочимъ, Спрингъ указываетъ на то, что самая мысль о тучѣ, остающейся нѣкоторое время наэлектризованной, невозможна. Мы знаемъ, что тѣла, электризованныя одноименно, взаимно отталкиваются; какъ же допустить, чтобы туча, которая не есть тѣло твердое, была наэлектризована? Вслѣдствіе дѣйствія одноименныхъ электричествъ несомнѣнно произошло бы взаимное отталкиваніе всѣхъ частей тучи, которая тотчасъ должна была бы разлетѣться во всѣ стороны. Это замѣчаніе вполнѣ справедливое. Если мы не каждый разъ замѣчаемъ градъ во время грозы, то, по мнѣнію Спринга, это происходитъ

Фиг. 37.



потому, что градъ въ большинствѣ случаевъ таетъ прежде, чѣмъ дойдетъ до земли.

Чтобы показать, до какой степени различны гипотезы происхожденія грозы и какъ мало, слѣдовательно, выяснена истинная причина грозовыхъ явленій, укажемъ на мнѣніе шведскаго ученаго *Эдлунда*, полагающаго, что молнія есть результатъ дѣйствія земнаго магнитизма и что молнія въ среднихъ и тропическихъ странахъ соотвѣтствуетъ тому, что представляетъ сѣверное сіяніе въ полярныхъ.

Говоря объ атмосферномъ электричествѣ, нельзя не упомянуть и о сѣверныхъ сіяніяхъ, въ электрическомъ происхожденіи которыхъ почти нельзя сомнѣваться. Странныя формы (одна изъ болѣе рѣдкихъ изображена на фиг. 37) и загадочная, но, повидимому, несомнѣнная ихъ связь съ солнечными пятнами крайне затрудняютъ опредѣленіе ихъ сущности и источника ихъ появленія.

Простѣйшія магнитныя явленія.

Магнитомъ называется тѣло (ненаэлектризованное), производящее несравненно бо̀льшую на нѣкоторыя тѣла притягательную силу, чѣмъ слѣдуетъ по общему закону взяимнаго притяженія всѣхъ тѣлъ. *Магниты* бываютъ *естественные* и *искуственные*; магниты естественные встрѣчаются въ землѣ, въ видѣ руды, представляющей или соединеніе закиси и окиси желѣза — это магнитный желѣзнякъ, или желѣза и сѣры—это магнитный колчеданъ. Залежи этихъ рудъ встрѣчаются на Уралѣ въ горѣ Благодати, въ Богеміи, Саксоніи, Швеціи, Англіи, Индіи, Малой Азіи, на островахъ Эльба, Санъ-Доминго и т. д. Искуственные магниты приготовляются изъ закаленной стали въ видѣ стержня, или въ видѣ подковы. Всѣ магниты обладаютъ четырьмя основными свойствами; мы докажемъ, что эти 4 свойства могутъ быть сведены къ одному основному, изъ котораго они вытекаютъ какъ слѣдствія.

Первое свойство магнитовъ—*притяженіе*. Магниты притягиваютъ желѣзо, сталь и нѣкоторые другіе металлы, какъ-то: никкель, кобальтъ, марганецъ и хромъ. Притяженіе магнитовъ дѣйствуетъ черезъ немагнитныя тѣла, каково дерево, стекло, бумага и т. д.; оно не во всѣхъ частяхъ поверхности магнита одинаково сильно. На поверхности всякаго магнита имѣются двѣ точки, въ которыхъ притяженіе наиболѣе сильное; эти точки называются *полюсами*; прямая линія, соединяющая полюсы магнита, называется *магнитною осью*. Обыкновенно въ искуственныхъ магнитахъ стараются полюсы расположить на концахъ. Между полюсами встрѣчается на поверхности магнита *поясъ безразличія*, гдѣ притяженіе нуль.

Второе свойство магнитовъ—приниманіе ими *опредѣленнаго направленія*. Удобоподвижный магнитъ, привѣшанный къ шнурку или наложенный на остріе или на какое-либо плавающее тѣло, обращается однимъ полюсомъ приблизительно къ сѣверу, другимъ къ югу — и притомъ всегда однимъ и тѣмъ же полюсомъ въ одно и то же направленіе, вслѣдствіе чего полюсы и получили названія сѣвернаго и южнаго. Точнѣе говоря, ось, т. е. прямая линія, соединяющая полюсы магнита, устанавливается въ указанномъ направленіи приблизительно отъ сѣвера къ югу. На этомъ свойствѣ магнитовъ основано, какъ извѣстно, устройство компаса, изобрѣтеніе котораго долгое время приписывалось итальянцу Флавіо Гіойа (или Джіованни Гира) изъ Амальфи (1302 г.). Но это не вѣрно: китайцы пользовались компасомъ на морѣ еще въ 3-емъ столѣтіи по Р. Хр., а на сушѣ несравненно раньше. По преданію онъ впервые употреблялся императоромъ Гуанъ-Ти въ 2364 году до Р. Хр. во время битвы съ мятежниками. Отъ китайцевъ компасъ

перешелъ въ Индію и Аравію и, наконецъ, въ Европу. Уже въ 1190 г. поэтъ Гіо де Провансъ упоминаетъ о компасѣ.

Третье свойство магнитовъ—это ихъ *взаимодѣйствіе.* Одноименные полюсы магнитовъ взаимно отталкиваются, разноименные — взаимно притягиваются.

Четвертое свойство магнита—*магнитная индукція,* заключающаяся въ томъ, что кусокъ желѣза, находящійся вблизи магнита, самъ превращается въ магнитъ, пріобрѣтая всѣ свойства магнитовъ. При этомъ на ближайшемъ къ данному полюсу магнита концѣ желѣза образуется разноименный, а на противуположномъ одноименный полюсы. Кусокъ желѣза, намагниченный такимъ образомъ, теряетъ тотчасъ же свой магнитизмъ, если удалить его отъ индуктирующаго магнита, сталь же сохраняетъ часть индуктированнаго магнитизма, вслѣдствіе чего искуственные магниты приготовляются изъ стали. Имъ придаютъ форму стержня или подковы. Магнитъ *Жамена* (фиг. 38) состоитъ изъ многихъ, сложенныхъ вмѣстѣ, стальныхъ полосъ; каждая изъ нихъ отдѣльно намагничивается до насыщенія. Магнитъ Жамена обладаетъ чрезвычайно большою силою.

Фиг. 38.

Если разломать магнитъ, то окажется, что каждая его часть будетъ самостоятельнымъ магнитомъ съ двумя полюсами и если раздробить магнитъ на весьма большое число мельчайшихъ частей — каждая будетъ новымъ магнитомъ съ двумя полюсами, одареннымъ всѣми свойствами, которыя только что были разсмотрѣны.

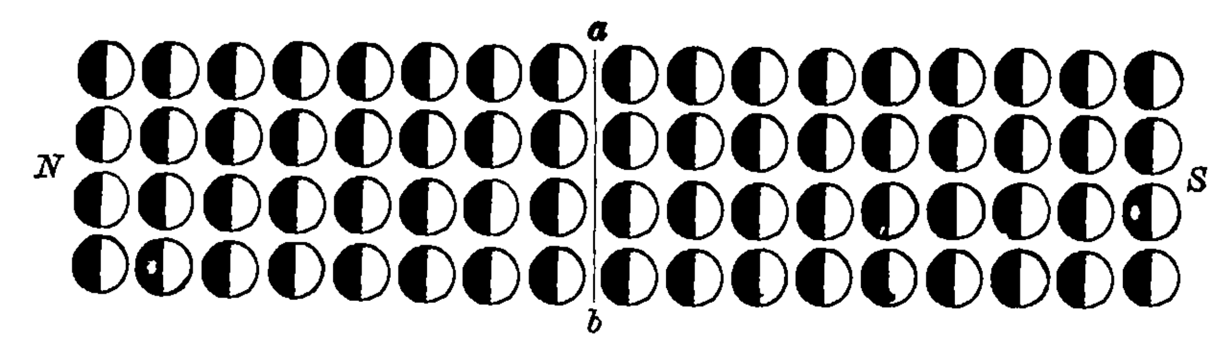
Изъ четырехъ основныхъ свойствъ магнитовъ, прежде всего, притяженіе не есть самостоятельное свойство, а есть слѣдствіе или результатъ индукціи и взаимодѣйствія. Дѣйствительно, если приблизить кусокъ желѣза къ полюсу магнита, то на ближайшемъ концѣ желѣза индуктируется разноименный полюсъ; тогда проявляется взаимное притяженіе двухъ разноименныхъ полюсовъ.

Второе изъ указанныхъ свойствъ магнита—приниманіе имъ опредѣленнаго направленія—также не есть самостоятельное свойство, а есть результатъ взаимодѣйствія между двумя магнитами: землею и разсматриваемымъ магнитомъ. Земля есть магнитъ, имѣющій южный магнитный полюсъ на островѣ Мельвиль, на сѣверѣ отъ Соединенныхъ Штатовъ (на широтѣ 74°27′), и сѣверный магнитный полюсъ, лежащій въ южныхъ полярныхъ странахъ на землѣ Викторія (на широтѣ 77°). Что земля есть магнитъ, утверждалъ первый *Жильбертъ* въ 1600 г. Весьма большой и сильный магнитъ—земля дѣйствуетъ на всѣ удобо-

подвижные магниты и заставляетъ ихъ устанавливаться въ совершенно опредѣленныхъ направленіяхъ.

Обращаясь къ третьему свойству, къ магнитной индукціи, необходимо предпослать объясненіе тому странному явленію, что куски сломаннаго магнита суть самостоятельные магниты. Это явленіе объясняется *гипотезой молекулярныхъ магнитовъ.* На основаніи этой гипотезы мы должны себѣ представить каждый магнитъ состоящимъ изъ безчисленнаго множества отдѣльныхъ частицъ, изъ которыхъ каждая есть самостоятельный магнитъ, имѣющій свои сѣверный и южный полюсы; это и суть такъ называемые молекулярные магниты. Въ готовомъ стальномъ магнитѣ эти частицы расположены такъ, что онѣ всѣ обращены сѣверными полюсами въ одну, а южными въ другую сторону (фиг. 39). Въ этомъ случаѣ весь кусокъ съ одной стороны имѣетъ сѣверный полюсъ *N*, а съ другой—южный *S*. Если разломить магнитъ хотя бы по направленію *ab*, то очевидно, что въ лѣвой части образуется новый южный

Фиг. 39.



полюсъ, а въ правой—новый сѣверный. Теперь легко показать, какъ третье свойство магнита, индукція, объясняется взаимодѣйствіемъ магнитовъ и является лишь какъ результатъ таковаго. Для объясненія, весьма правдоподобнаго, слѣдуетъ принять въ соображеніе теорію *Вебера* о *вращающихся молекулярныхъ магнитахъ.* Предположимъ, что въ кускѣ простаго ненамагниченнаго желѣза всѣ частицы, какъ и въ готовомъ магнитѣ, суть молекулярные магниты, которые однако расположены безо всякаго порядка, такъ что сѣверные ихъ полюсы, а слѣд. и южные, направлены во всѣ стороны. Тогда общее дѣйствіе ихъ на внѣшнюю точку, въ совокупности, должно будетъ равняться нулю. Если къ такому куску желѣза приблизить магнитъ, то начнется взаимодѣйствіе между послѣднимъ и молекулярными магнитами желѣза; послѣдніе начнутъ *вращаться* и примутъ расположеніе, соотвѣтствующее дѣйствію магнита; всѣ южные полюсы молекулярныхъ магнитовъ обратятся въ одну сторону, сѣверные—въ противоположную, т. е. желѣзо превращается въ магнитъ.

Въ желѣзѣ молекулярные магниты возвращаются въ прежнее положеніе, если удалить индуктирующій магнитъ; въ стали же какая-то

сила отчасти удерживаетъ молекулярные магниты въ принятыхъ ими подъ дѣйствіемъ магнита направленіяхъ, такъ что они, по крайней мѣрѣ отчасти, не могутъ возвратиться къ прежнему безпорядочному расположенію. Можно думать, что причину этой силы, задерживающей частицы, надо искать въ треніи ихъ о частицы угля, находящагося, какъ извѣстно, въ стали.

О земномъ магнитизмѣ.

При изученіи явленій земнаго магнитизма приходится обратить вниманіе на три величины: на *магнитныя склоненіе, наклоненіе* и *напряженіе*. Полюсы удобоподвижныхъ магнитовъ не обращаются совершенно точно на сѣверъ и на югъ. Направленіе магнитной оси обыкновенно нѣсколько уклоняется на востокъ или на западъ; уголъ, который ось образуетъ съ направленіемъ земнаго меридіана, называется *магнитнымъ склоненіемъ*. Въ Петербургѣ этотъ уголъ около 50′, т. е. онъ менѣе 1°. На востокѣ отъ Петербурга проходитъ линія (она неправильнаго вида; идетъ отъ сѣвернаго полюса черезъ Россію и Аравію къ южному полюсу и затѣмъ черезъ Бразилію и Лабрадоръ опять къ сѣверному), во всѣхъ точкахъ которой склоненіе равно нулю. Въ Европѣ, кромѣ восточной половины Россіи, въ Африкѣ, въ Атлантическомъ океанѣ и въ весьма малой части восточной Америки склоненіе западное, т. е. сѣверный полюсъ магнита отклоненъ нѣсколько къ западу; въ Австраліи, Тихомъ океанѣ, большей части Америки и почти во всей Азіи склоненіе восточное. Есть мѣста, гдѣ склоненіе весьма велико, въ сѣверныхъ частяхъ Атлантическаго океана оно доходитъ до 30° и 40°, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сѣверной Америки до 90° (стрѣлка показываетъ на востокъ и западъ), и, наконецъ, не трудно найти мѣсто, гдѣ магнитная стрѣлка сѣвернымъ полюсомъ показываетъ на югъ и южнымъ на сѣверъ, гдѣ, слѣдовательно, склоненіе 180°. Открытіе склоненія приписывается Колумбу (на пути въ Америку), который объяснилъ его тѣмъ, что магнитная стрѣлка показываетъ на звѣзду, которая сама движется. Китайцамъ склоненіе было извѣстно уже въ 12-мъ столѣтіи.

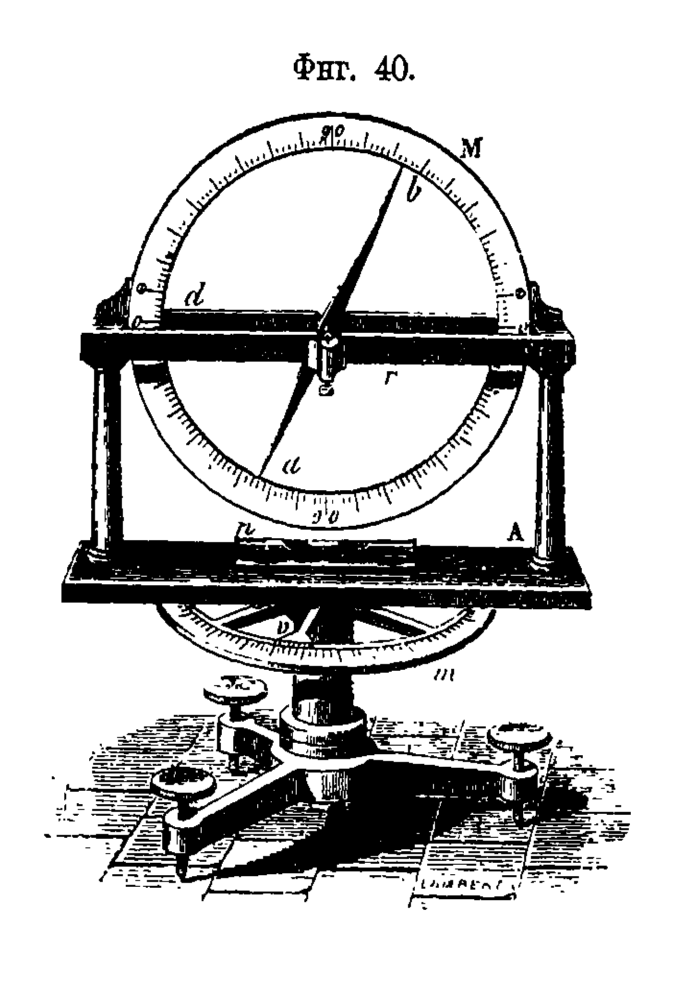
Если взять стальную горизонтальную полосу, вращающуюся около горизонтальной оси, и если обѣ половины полосы одинаково тяжелы, то ни одна изъ ея половинъ не опустится внизъ. Если эту стальную пластинку намагнитить, то сѣверный полюсъ начнетъ сильно опускаться внизъ; можетъ показаться, что вслѣдствіе намагничиванія одна сторона сдѣлалась значительно тяжелѣе другой. Это явленіе называется магнитнымъ наклоненіемъ; уголъ между осью стрѣлки и горизонтальною плоскостью называется угломъ *магнитнаго наклоненія*. Магнитное наклоненіе опредѣляется стрѣлкою наклоненія, устройство которой ясно изъ фиг. 40. Оно въ Петербургѣ равняется почти 71°.

Въ странахъ тропическихъ магнитное наклоненіе почти равняется нулю. Въ нашихъ странахъ сѣверный полюсъ опускается внизъ; въ странахъ южнаго полушарія опускается южный полюсъ. Это явленіе объясняется очень просто. Мы знаемъ, что земля можетъ быть разсматриваема какъ громадный магнитъ и что мы находимся ближе къ южному магнитному полюсу земли. Поэтому у насъ опускается внизъ сѣверный полюсъ магнита; на южномъ же полушаріи, гдѣ мы находимся ближе къ сѣверному магнитному полюсу земли, долженъ опускаться внизъ южный полюсъ магнита. На магнитныхъ полюсахъ земли наклоненіе 90°, т. е. ось стрѣлки устанавливается вертикально.

Наклоненіе было открыто въ 1544 г. *Гартманомъ*, викаріемъ въ Нюрнбергѣ.

Въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности направленіе и *напряженіе* (сила) земнаго магнитизма различны; существуютъ особые способы для точнаго ихъ опредѣленія.

Фиг. 40.



Если мы магнитную стрѣлку, которая указываетъ приблизительно на сѣверъ и на югъ, отклонимъ въ сторону и затѣмъ предоставимъ самой себѣ, то она начнетъ качаться направо и налѣво, пока не остановится въ прежнемъ положеніи. Легко понять, что чѣмъ съ бо́льшею силою дѣйствуетъ земной магнитизмъ, тѣмъ съ бо́льшею скоростью будетъ магнитъ возвращаться къ своему положенію равновѣсія, и тѣмъ съ бо́льшею, слѣдовательно, скоростью онъ будетъ качаться. Отсюда слѣдуетъ, что по скорости качанія мы можемъ судить о величинѣ силы земнаго магнитизма (точнѣе: горизонтальной слагаемой этой силы), дѣйствующей въ данной мѣстности.

Склоненіе, наклоненіе и напряженіе имѣютъ опредѣленныя величины въ данной мѣстности и въ данное время; но они подвержены 4 измѣненіямъ. Во 1-хъ, всѣ три величины этихъ, такъ называемыхъ, элементовъ земнаго магнитизма подвергаются суточному измѣненію, съ возвращеніемъ ихъ въ этотъ періодъ къ прежнему значенію. Суточный періодъ открылъ *Грэмъ* въ 1722 г. Во 2-хъ, есть годичный періодъ измѣненія этихъ величинъ, т. е. онѣ въ теченіи года періодически мѣняются; въ 3-хъ, существуетъ такъ называемое вѣковое измѣненіе. Такъ, для склоненія наблюдается изъ году въ годъ непрерывное измѣ-

ненie; нулевая линiя перемѣщается по земному шару; въ настоящее время она приближается къ Петербургу и есть поводъ думать, что черезъ 6 лѣтъ склоненie въ Петербургѣ будетъ равно нулю. Наблюденiя надъ склоненiемъ показали, что 300 лѣтъ тому назадъ въ Парижѣ было склоненie 11°30′ къ востоку; затѣмъ оно уменьшилось и въ 1663 г. сдѣлалось равнымъ нулю, а затѣмъ западнымъ; послѣ этого нулевая линiя прошла черезъ всю Европу и удалилась въ Азiю; въ 1814 г. западное склоненie въ Парижѣ достигло наибольшаго своего значенiя — 22°34′. Теперь нулевая линiя вновь перемѣщается къ западу; въ 1880 г. западное склоненie въ Парижѣ уже уменьшилось до 17°. Вѣковыя измѣненiя открылъ *Гелибрандъ* въ 1634 г.

Четвертое измѣненie всѣхъ трехъ элементовъ земнаго магнитизма есть явленie, называемое *магнитною бурею.* Явленie это заключается въ слѣдующемъ: внезапно всѣ три величины начинаютъ быстро мѣняться, магнитная стрѣлка представляется до крайности безпокойною. Такое состоянie продолжается иногда болѣе сутокъ; въ продолженiи этого времени склоненie, наклоненie и напряженie подвергаются весьма сильнымъ и неправильнымъ измѣненiямъ. Магнитная буря одновременно замѣчается на огромномъ пространствѣ, вѣроятно на всей земной поверхности, но проявленie ея не во всѣхъ мѣстахъ одинаково сильно. Наблюденiя, произведенныя съ 1843—46 г. въ рудникѣ на глубинѣ 545 метровъ, показали, что во время магнитной бури всѣ измѣненiя элементовъ происходятъ совершенно одинаково, какъ на поверхности земли, такъ и на этой значительной глубинѣ. Связь между магнитными бурями и сѣверными сiянiями была замѣчена *Iортеромъ* (Hjorter) еще въ 1741 г. Не каждая магнитная буря сопряжена съ сѣвернымъ сiянiемъ, но каждое сѣверное сiянie сопровождается магнитною бурею. Такъ, 7 Января 1831 г. наблюдалось необыкновенно сильное сѣверное сiянie и въ то же время магнитная буря, во время которой въ Берлинѣ склоненie мѣнялось на 2°. Число магнитныхъ бурь не во всѣхъ годахъ одинаково; безъ всякаго сомнѣнiя существуетъ перiодъ приблизительно въ 11½ лѣтъ, втеченie котораго магнитныя бури сперва напр. повторяются часто, затѣмъ ихъ число ежегодно уменьшается и нѣсколько лѣтъ подрядъ онѣ почти вовсе не наблюдаются. Затѣмъ онѣ вдругъ снова появляются въ большемъ и быстро возрастающемъ числѣ. Перiодъ въ 11½ лѣтъ, обнимающiй собою время отъ одного максимума числа магнитныхъ бурь до слѣдующаго, совпадаетъ съ перiодами солнечныхъ пятенъ. Въ то время, когда особенно велико число солнечныхъ пятенъ, наблюдается и наибольшее число сѣверныхъ сiянiй и магнитныхъ бурь.

ЛЕКЦІЯ IV.

Объ энергіи: понятіе о работѣ, инерція, энергія явная и скрытая, законъ сохраненія энергіи. Электрическая энергія. *Потенціалъ:* свойства потенціала, аналогичныя свойствамъ температуры; свойства потенціала, аналогичныя свойствамъ высоты жидкости въ сосудѣ. Разность потенціаловъ, электро-возбудительная сила. Электрическая емкость. *Электризація при соприкосновеніи.* Основные опыты, гипотезы контактная и химическая. Соприкосновеніе двухъ металловъ, металла и жидкости, жидкости и двухъ металловъ. Простой гальваническій элементъ; Вольтовъ столбъ. *О гальваническомъ токѣ:* происхожденіе тока. Дуалистическій и унитарный взгляды; термины, направленіе тока. Источникъ энергіи электрическаго тока. Аналогія между элементомъ и паровымъ насосомъ.

Принципъ сохраненія энергіи.

Современное ученіе о физико-химическихъ явленіяхъ почти цѣликомъ основано на двухъ великихъ истинахъ: на принципѣ сохраненія матеріи и на принципѣ сохраненія энергіи. Первый принципъ, открытый въ концѣ послѣдняго столѣтія, говоритъ, что матерія, существующая въ мірѣ, не можетъ исчезнуть и не можетъ вновь явиться; что при всѣхъ безконечно-разнообразныхъ и чрезвычайно сложныхъ преобразованіяхъ, которыя происходятъ съ матеріею, ничего не теряется и ничего вновь не создается. Чтобы уяснить себѣ столь же важный второй принципъ, необходимо прежде всего познакомиться съ понятіями о *работѣ* и, въ особенности, объ *энергіи.* Мы говоримъ, что производится работа, каждый разъ, когда преодолѣвается какое-нибудь сопротивленіе. Простѣйшимъ примѣромъ работы можетъ служить приподниманіе груза, во время котораго преодолѣвается сила тяжести. Этотъ простѣйшій примѣръ работы послужитъ намъ и для опредѣленія единицы работы: мы принимаемъ за единицу работы ту работу, которая производится, если грузъ, вѣсъ котораго равенъ вѣсовой единицѣ, поднимается на высоту, равную единицѣ длины, т. е. если напр. одинъ фунтъ приподнимается на высоту одного фута; эта единица работы называется фунто-футомъ. Подобно этому, работа, которая производится, если одинъ килограммъ приподнимается на высоту одного метра, называется *килограммъ-метромъ* и можетъ быть принята за *единицу работы.* Обращаемся къ другому примѣру работы. Извѣстно, что всякое тѣло, находящееся въ покоѣ, сохраняеть это состояніе; точно также, всякое движущееся тѣло стремится сохранить это движеніе; въ этомъ заключается одно изъ основныхъ свойствъ матеріи, называемое инерціей. Если произвольное тѣло, находящееся въ состояніи покоя, приводится въ движеніе или если измѣняется характеръ самаго движенія тѣла, если движеніе уско-

ряется или замедляется, — то во всѣхъ этихъ случаяхъ мы говоримъ, что производится работа. Если удалять другъ отъ друга два тѣла, взаимно притягивающихся, то приходится преодолѣвать притягательную между ними силу, т. е. производить работу. Если разгибаютъ пружину, то тѣмъ самымъ преодолѣваютъ стремленіе тѣла сохранить первоначальную форму; если растягиваютъ резиновый шнурокъ, если производятъ треніе одного тѣла о другое, если преодолѣвается сопротивленіе среды (напр. воздуха или воды), которое тѣло встрѣчаетъ при своемъ движеніи—во всѣхъ такихъ случаяхъ производится работа. Приведемъ еще послѣдній примѣръ: если происходитъ разложеніе химическаго соединенія, то также производится работа; углекислота напр. представляетъ химическое соединеніе, каждая частица котораго содержитъ 1 атомъ углерода и 2 атома кислорода; чтобы разложить углекислоту на уголь и кислородъ, необходимо преодолѣть силу, соединяющую эти атомы, — иначе говоря, приходится произвести работу, чтобы преодолѣть силу химическаго сродства.

Если мы внимательно разсмотримъ тѣла, насъ окружающія, мы легко убѣдимся въ томъ, что между ними есть такія, способность которыхъ производить работу прямо бросается въ глаза; къ такимъ тѣламъ принадлежатъ, напр., движущееся пушечное ядро, паровой котелъ, наполненный горячею водою и паромъ, готовая ко взрыву мина, *Способность производить работу*, т. е. преодолѣвать сопротивленія, общепринято называть *энергіею*, и мы говоримъ, что движущееся ядро, паровой котелъ или готовая мина обладаютъ энергіею. Болѣе внимательное изслѣдованіе скоро приводитъ къ убѣжденію, что слѣдуетъ строго отличать два рода энергіи: *явную* (или кинетическую) и *скрытую* (или потенціальную)

Движущееся ядро представляетъ самый простой примѣръ явной энергіи. Мы видимъ ея присутствіе, замѣчаемъ ее при ударѣ ядра о предметъ. Что всякое движущееся тѣло обладаетъ энергіею, т. е. способностью производить работу — очевидно Если къ большому, быстро вращающемуся колесу прицѣпить конецъ веревки, къ другому концу котораго привѣшенъ небольшой грузъ, то съ размаху колесо нѣкоторое время будетъ продолжать вращаться, веревка будетъ наматываться, а грузъ подниматься, слѣдовательно колесо будетъ производить работу. Это-же колесо, вращаясь, будетъ преодолѣвать треніе объ ось и объ окружающій воздухъ, т. е. опять производить работу Движущееся ядро, ударяя о другое тѣло, можетъ его привести въ движеніе, можетъ его раздробить или согнуть, вообще производить разнаго рода работы, на которыя тѣло, находящееся въ покоѣ, неспособно. Если мы къ ниткѣ привѣсимъ не слишкомъ тяжелый камень—нитка останется цѣла; если-же мы нѣсколько приподнимемъ камень и отпустимъ его, то онъ, падая, можетъ разорвать нитку: двигаясь, онъ обладаетъ энергіею и способенъ произ-

вести работу, преодолѣть сопротивленіе нитки и разорвать ее. Прежде, чѣмъ перейти къ разсмотрѣнію другихъ примѣровъ энергіи, укажемъ на важное явленіе, обнаруживающееся всякій разъ, когда движущееся тѣло производитъ работу. Чѣмъ тѣло больше и чѣмъ оно движется быстрѣе, тѣмъ больше оно способно произвести работу ядро, брошенное руками, не проломитъ деревяннаго забора; то же ядро, выпущенное изъ пушки, пройдетъ черезъ стальную броню или разрушитъ каменную стѣну. Мы говоримъ, что въ послѣднемъ случаѣ его энергія больше, чѣмъ въ первомъ, или что у него большій *запасъ энергіи.* По закону инерціи, скорость тѣла, вполнѣ предоставленнаго самому себѣ, никогда не мѣняется, отсюда слѣдуетъ, что *движущееся тѣло, предоставленное самому себѣ, сохраняетъ запасъ энергіи, который оно имѣетъ*, другими словами: его способность производить работу остается безъ измѣненія. Предположимъ теперь, что движущееся тѣло начинаетъ производить работу, напр., ударивъ въ другое тѣло, приводитъ это послѣднее въ движеніе. Оказывается, что въ тотъ же моментъ его собственная скорость, а слѣдовательно и его запасъ энергіи уменьшаются. Въ этомъ можно убѣдиться, наблюдая за движеніемъ шаровъ на билліардномъ столѣ. Быстро движущійся шаръ, ударивъ въ другой, приводитъ его въ движеніе, производитъ работу и затѣмъ самъ продолжаетъ двигаться гораздо медленнѣе. И какую бы движущееся тѣло ни производило работу, всегда его движеніе при этомъ замедляется, его энергія уменьшаеся; когда ядро, пробивая стѣну, когда колесо, преодолѣвая треніе объ ось, производятъ работу, ихъ скорость и энергія уменьшаются. Выше было указано на то, что вращающееся колесо можетъ грузъ приподнять. Безъ груза оно, получивъ сильный размахъ, вращалось бы долго; если-же заставить колесо поднимать грузъ, оно, понятно, очень скоро совсѣмъ остановится.

Все предъидущее приводитъ насъ къ слѣдующему выводу: движущееся тѣло обладаетъ извѣстнымъ запасомъ энергіи, т. е. способностью производить работу. Всякій разъ, когда такое тѣло фактически производитъ работу, его скорость, а слѣдовательно и запасъ энергіи уменьшаются Это можетъ продолжаться такъ долго, пока весь запасъ энергіи не истощится, тѣло не остановится и оно сдѣлается уже болѣе не способнымъ произвести работу, не обладая энергіею. Чѣмъ труднѣе, если можно такъ выразиться, производимая работа, тѣмъ быстрѣе истощится запасъ энергіи. Колесо, приподнимающее съ размаху грузъ, тѣмъ скорѣе остановится, чѣмъ этотъ грузъ тяжелѣе; камень, лежащій на полу и получившій съ боку толчекъ, не далеко отодвинется, если полъ шероховатъ и ему приходится произвести большую работу, преодолѣвая треніе; на поверхности льда, гдѣ эта работа мала, онъ долго будетъ скользить, пока его запасъ энергіи не истощится.

Движущееся тѣло далеко не единственный примѣръ тѣла, обладающаго запасомъ энергіи. Горячій паръ, наполняющій котелъ паровой

машины, способенъ, расширяясь, двигать поршень въ цилиндрѣ и черезъ него приводить въ движенiе фабричные приводы, произвести громаднѣйшiя и разнообразнѣйшiя работы; паръ, слѣдовательно, обладаетъ также запасомъ энергiи. Чѣмъ она, однако, обусловливается? Очевидно, содержащеюся въ парѣ теплотою. Менѣе горячiй паръ не способенъ произвести столь большую работу, какъ болѣе горячiй. Итакъ, *теплота есть особый видъ энергiи*, которую мы и будемъ называть *тепловою энергiею*. Въ настоящее время принимается, что теплота есть особое состоянiе весьма быстраго, колебательнаго движенiя частицъ тѣла. Чѣмъ сильнѣе колеблются частицы, тѣмъ теплѣе тѣло. Отсюда ясно, что тепловая энергiя не отличается существенно отъ энергiи выше разсмотрѣннаго движенiя тѣлъ. И тамъ, и здѣсь мы имѣемъ дѣло съ движенiемъ: тамъ энергiя видимаго движенiя цѣлаго тѣла, здѣсь тепловая энергiя невидимаго, внутренняго движенiя частицъ тѣла. Запасъ внутренней энергiи увеличивается при нагрѣванiи, уменьшается при охлажденiи. Точные опыты показали, что горячiй паръ, расширяясь, охлаждается, если онъ при этомъ производитъ работу: запасъ энергiи уменьшается. Если же мы впустимъ часть пара въ совершенно пустой (безвоздушный) сосудъ, то онъ, входя въ него, не встрѣчаетъ никакого препятствiя, работу не производитъ и потому, какъ и подтвердили опыты, количество теплоты, въ немъ содержащейся, т. е. запасъ тепловой энергiи, остается безъ измѣненiя. Въ цилиндрѣ же паровой машины паръ, расширяясь, толкаетъ поршень, производитъ работу и охлаждается. И здѣсь, слѣдовательно, подтверждается, что запасъ энергiи уменьшается, какъ только производится работа. Полнаго истощенiя этого запаса энергiи, однако, достигнуть нельзя, такъ какъ нѣтъ возможности охладить тѣло до такъ называемой температуры абсолютнаго нуля, при которой всѣ частицы тѣла находились бы въ совершенномъ покоѣ.

Мы разсмотрѣли два случая энергiи, т. е. способности производить работу: энергiю видимаго движенiя тѣла и энергiю невидимаго движенiя частицъ тѣла, т. е. теплоту. Мы видѣли, что запасъ энергiи (т. е. скорость движенiя въ первомъ случаѣ, количество теплоты во второмъ) уменьшается, какъ только производится работа. Эти два примѣра энергiи имѣютъ, однако, еще общiй признакъ: присутствiе энергiи непосредственно нами замѣчается, она, такъ сказать, бросается въ глаза. Движенiе тѣла мы видимъ, его присутствiе мы можемъ ощущать; присутствiе теплоты замѣчается при осязанiи; она производитъ цѣлый рядъ различныхъ, всѣмъ извѣстныхъ ощущенiй. Отсюда понятно, отчего въ этихъ двухъ случаяхъ энергiя называется *явною*. Дальнѣйшимъ примѣромъ явной энергiи служитъ энергiя лучистой теплоты (напр. лучей солнца) и свѣтовая энергiя, не отличающiяся существенно другъ отъ друга. И въ этомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ особеннаго рода движенiемъ мельчайшихъ частицъ, но уже не какого-нибудь тѣла, а того предполагаемаго

особаго вещества, наполняющаго вселенную, которое есть причина свѣтовыхъ и электрическихъ явленій, безъ допущенія котораго современная физика обойтись не можетъ и которое принято называть эфиромъ.

Переходимъ къ разсмотрѣнію различныхъ случаевъ *скрытой* энергіи. Положимъ, что какой-нибудь камень спокойно лежитъ на поверхности земли; перенесемъ его на крышу высокой башни, — онъ и тамъ будетъ лежать столь-же спокойно и неподвижно и мы не въ состояніи замѣтить хотя бы малѣйшей разницы между камнемъ на крышѣ и камнемъ на землѣ. Но простыми умозаключеніями мы можемъ убѣдиться, что первый обладаетъ способностью производить работу, которой у втораго нѣтъ. Дѣйствительно, привяжемъ къ камню, лежащему на крышѣ, конецъ веревки и обвернемъ ее около какого-нибудь вала. Если камень столкнуть съ крыши, онъ начнетъ спускаться на землю, таща за собою веревку; вмѣстѣ съ тѣмъ, валъ начнетъ вертѣться, а этимъ можно воспользоваться, чтобы привести въ движеніе какую-нибудь машину, чтобы совершить какую-нибудь работу. Итакъ, ясно, что камень, лежащій на крышѣ, обладаетъ способностью произвести при извѣстныхъ условіяхъ работу, — слѣдовательно, мы должны сказать, что онъ обладаетъ запасомъ энергіи. Но эта энергія, очевидно, совершенно другаго характера, чѣмъ явная энергія движущагося или горячаго тѣла. Энергія приподнятаго камня будетъ *скрытою энергіею*. Чѣмъ выше мы приподнимаемъ камень, тѣмъ бо́льшую онъ, опускаясь, совершитъ работу, — другими словами, тѣмъ больше въ немъ окажется энергіи. Запасъ энергіи зависитъ, такимъ образомъ, отъ мѣстоположенія предмета, отъ высоты надъ поверхностью земли, и потому она иногда называется *энергіею положенія*. Приподнятый камень можетъ произвести работу только, когда онъ спускается; при этомъ высота его подъема уменьшается, а слѣдовательно, уменьшается и его запасъ энергіи, который окончательно истощится, если камень спустится до поверхности земли. Сказанное нами о явной энергіи вѣрно и по отношенію къ энергіи скрытой: какъ только тѣло начинаетъ производить работу, его запасъ энергіи уменьшается и можетъ вполнѣ истощиться.

Приподнятый камень представляетъ частный случай скрытой энергіи, который не трудно обобщить. Способность совершить работу является послѣдствіемъ притяженія между камнемъ и землею. Всякая пара тѣлъ, взаимно притягивающихся или отталкивающихся, обладаетъ запасомъ скрытой энергіи, такъ какъ, вслѣдствіе взаимодѣйствія этихъ тѣлъ, по крайней мѣрѣ одно изъ нихъ можетъ начать двигаться и, увлекая напр. съ собою веревку, обвитую вокругъ вала, произвести работу. Два магнита, обращенные другъ къ другу разноименными полюсами, притягиваются. Пока они остаются неподвижными, въ нихъ сохраняется запасъ скрытой энергіи. При удобныхъ обстоятельствахъ они, приближаясь другъ къ другу, могутъ произвести работу. Чѣмъ

дальше они другъ отъ друга, тѣмъ больше запасъ энергіи, который тратится во время приближенія. Небесныя свѣтила взаимно притягиваются и, поэтому, кромѣ явной энергіи движенія, обладаютъ и скрытою. Солнце и земля представляютъ систему двухъ тѣлъ, обладающихъ громаднымъ запасомъ скрытой энергіи, которая обнаружилась бы, еслибы земля перестала вращаться вокругъ солнца; тогда она-бы полетѣла къ солнцу, и понятно, что на пути къ нему могла бы произвести огромную работу. Совершенно иной примѣръ тѣла, обладающаго скрытою энергіею, представляетъ согнутая *пружина*. Выпрямляясь, она можетъ произвести работу (часовые механизмы). Какъ и въ случаѣ приподнятаго камня, существованіе запаса энергіи незамѣтно; оно зависитъ отъ измѣненнаго при сгибаніи внутренняго расположенія частицъ, которыя стремятся возвратиться къ первоначальному расположенію. Чѣмъ сильнѣе пружина согнута (или свернута, растянута, сдавлена), тѣмъ большимъ запасомъ скрытой энергіи она обладаетъ. Работу она можетъ произвести только выпрямляясь (или развертываясь, стягиваясь, удлиняясь), а при этомъ запасъ энергіи уменьшается. Когда пружина вполнѣ выпрямилась, она уже неспособна произвести дальнѣйшей работы — тогда весь запасъ скрытой энергіи истощился.

Разсмотримъ еще одинъ, послѣдній примѣръ скрытой энергіи. Извѣстно, что въ паровыхъ машинахъ, способныхъ произвести большую работу, для нагрѣванія воды и пара пользуются теплотою, которая развивается при горѣніи топлива, расположеннаго подъ котломъ. Горѣніе, какъ извѣстно, означаетъ, что уголь, изъ котораго главнымъ образомъ состоитъ топливо, химически соединяется съ кислородомъ воздуха, образуя углекислоту. Къ такому соединенію, сопряженному съ выдѣленіемъ тепла, способенъ каждый кусокъ угля, а такъ какъ горѣніемъ можно воспользоваться, чтобы, въ концѣ концовъ, произвести работу, то мы можемъ сказать, что уголь съ воздухомъ, вмѣстѣ взятые, способны, при нѣкоторыхъ условіяхъ, произвести работу; слѣдовательно, уголь и воздухъ, вмѣстѣ взятые, обладаютъ энергіею, очевидно скрытою и называемою *скрытою химическою энергіею*. Каждая группа двухъ или болѣе тѣлъ, способныхъ химически дѣйствовать другъ на друга, такъ что во время этого дѣйствія будетъ выдѣляться тепло, обладаютъ скрытою химическою энергіею. Къ такимъ тѣламъ принадлежатъ порохъ и другія взрывчатыя вещества. Когда уголь горитъ подъ котломъ паровой машины, онъ, вступая въ соединеніе съ кислородомъ, становится составною частью образующейся при горѣніи углекислоты и уже не обладаетъ тою энергіею, которая ему была присуща, пока онъ былъ свободенъ, другими словами, и въ этомъ случаѣ энергія, т. е. способность работать, истрачивается, когда начнется самая работа.

И такъ, мы видимъ, что многія тѣла обладаютъ способностью производить работу—энергіею. Послѣдняя бываетъ явная (энергія движу-

щагося тѣла, тепловая энергія) и скрытая (энергія приподнятаго груза, натянутой пружины, притягивающихся тѣлъ, химическая энергія). *Всякій разъ, когда тѣла, обладающія энергіею, производятъ работу, запасъ этой энергіи уменьшается иногда до полнаго истощенія, послѣ чего способность производить работу утрачивается* (спустившійся грузъ, развернувшаяся пружина, сгорѣвшій уголь).

Въ сороковыхъ годахъ текущаго столѣтія было сдѣлано открытіе одной изъ величайшихъ и для науки плодовитѣйшихъ истинъ, которая называется *принципомъ сохраненія энергіи.* Одновременными работами *Джуля* въ Англіи, *Роберта Мейера* (въ Гейлброннѣ) и *Гельмгольца* въ Германіи было выяснено, что *энергія не можетъ быть уничтожена и не можетъ вновь произойти*, т. е. сколько ея существуетъ, сколько же и останется. Разные, выше разсмотрѣнные, виды энергіи могутъ переходить другъ въ друга; запасъ энергіи, присущій данному тѣлу или данной системѣ тѣлъ, можетъ истощиться, но, несмотря на всѣ переходы и превращенія, полное количество энергіи остается неизмѣннымъ. Сохраненіе энергіи, такимъ образомъ, аналогично сохраненію вещества, которое также, несмотря на всѣ разложенія, соединенія и превращенія, никогда не уничтожается и полное количество котораго остается неизмѣннымъ. Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ превращенія энергіи. Мы видѣли, что приподнятый камень обладаетъ скрытою энергіею; если камень начнетъ падать внизъ, то, по мѣрѣ приближенія къ поверхности земли, его скрытая энергія утрачивается; но за то камень, двигаясь все быстрѣе и быстрѣе, пріобрѣтаетъ энергію явную. Въ моментъ удара камня объ землю, онъ останавливается, явная энергія его движенія исчезаетъ; но зато является соотвѣтствующее количество тепловой энергіи — при ударѣ двухъ тѣлъ, какъ извѣстно, въ мѣстахъ соприкосновенія появляется теплота. И такъ, при паденіи камня, мы имѣемъ дѣло послѣдовательно со слѣдующими видами энергіи: скрытая — приподнятаго груза, явная — видимаго движенія, явная — внутренняго невидимаго тепловаго движенія.

Растенія втягиваютъ въ себя находящуюся въ воздухѣ углекислоту и разлагаютъ ее на уголь, который остается въ растеніяхъ, и кислородъ, который выдѣляется. Чтобъ оторвать другъ отъ друга плотно соединившіеся уголь и кислородъ, необходимо произвести работу, которая, дѣйствительно, и производится внутри растенія на счетъ тепловой энергіи солнечныхъ лучей. Въ тѣлѣ животнаго, питающагося растеніями (или травоядными животными), уголь соединяется со вдыхаемымъ кислородомъ, горитъ, чѣмъ и поддерживается сравнительно высокая температура тѣла животнаго. Каждый разъ, когда человѣкъ или животное производитъ работу, часть этой теплоты въ мышцахъ исчезаетъ. Положимъ, человѣкъ бросаетъ камень въ верхъ; тогда съ самаго начала, мы имѣемъ слѣдующій рядъ послѣдовательныхъ превращеній энер-

гіи: на солнцѣ скрытая химическая энергія разныхъ группъ тѣлъ и скрытая энергія взаимно притягивающихся массъ при соединеніи или сближеніи (сгущеніи) превращается въ тепловую явную энергію солнечной массы; эта энергія передается свѣтовому эфиру, быстрое колебательное движеніе котораго распространяется; энергія тепловыхъ лучей какъ-бы разливается по вселенной. Въ растеніяхъ эта энергія превращается вновь въ скрытую химическую энергію угля и кислорода; въ тѣлѣ человѣка уголь горитъ и получается тепловая энергія, которая исчезаетъ въ моментъ приведенія камня въ движеніе: является явная энергія движущагося камня. По мѣрѣ поднятія камня, она превращается въ скрытую энергію приподнятаго тѣла и въ моментъ, когда камень, достигнувъ наибольшей высоты, остановится, вся явная энергія превратилась въ скрытую. Затѣмъ камень начинаетъ падать; скрытая энергія вновь превращается въ явную энергію видимаго движенія, которая, при ударѣ объ землю, даетъ, наконецъ, тепловую энергію. Когда изъ пушки дѣлается выстрѣлъ, то скрытая химическая энергія взрывчатаго вещества (напр. пороха) превращается отчасти въ тепловую энергію, отчасти въ явную энергію движенія газовъ и ядра; послѣдняя, при треніи объ воздухъ и ударъ о преграду, также превращается въ энергію тепловую.

Въ паровой машинѣ тепловая энергія пара, который, какъ уже было упомянуто, работая, т. е. расширяясь въ цилиндрѣ, охлаждается, превращается въ энергію видимаго движенія поршня и разныхъ машинъ, соединенныхъ съ его стержнемъ; значительная часть этой энергіи (а иногда и вся) превращается опять въ тепловую энергію въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ треніе движущихся частей машины о воздухъ и другъ о друга.

Нетрудно привести еще множество примѣровъ перехода одного рода энергіи въ другой. Иногда несовсѣмъ легко прослѣдить рядъ этихъ переходовъ, но, при внимательномъ изслѣдованіи явленій и нѣкоторомъ навыкѣ ихъ анализировать, принципъ сохраненія энергіи всегда подтверждается: энергія не можетъ исчезнуть и не можетъ вновь произойти; она непрерывно можетъ превращаться изъ одного вида въ другой. Если тѣло (или система тѣлъ) производитъ работу, то его энергія уменьшается, переходя на другія тѣла; напр., при треніи энергія видимаго движенія уменьшается, переходя въ энергію тепловую.

Если мы имѣемъ дѣло съ наэлектризованными тѣлами, то, спрашивается, какое ихъ будетъ отношеніе къ разобранному нами вопросу?

Наэлектризованныя тѣла способны другъ друга притягивать или отталкивать, при этомъ приходить въ движеніе, а слѣдовательно и производить работу. Отсюда ясно, что наэлектризованныя тѣла представляютъ для насъ новый примѣръ энергіи, конечно скрытой. Если мы тремъ два тѣла другъ о друга, то на одномъ появляется положительное электричество, на другомъ отрицательное; эти тѣла способны притягиваться,

а слѣдовательно они содержатъ запасъ особаго рода скрытой энергіи, которую мы должны назвать *энергіею электрической*. Трудно опредѣлить сущность этой способности производить работу, но надо думать, что при натираніи тѣла электризующагося употреблялось бо̀льшее усиліе, чѣмъ если бы тѣло не электризовалось, и вотъ этотъ избытокъ, произведенный при натираніи работы, и есть источникъ появившейся вслѣдствіе натиранія электрической скрытой энергіи. Лейденская банка, содержащая большой запасъ положительнаго и отрицательнаго электричества, представляетъ собою примѣръ тѣла, заключающаго въ себѣ большой запасъ скрытой энергіи; она во многомъ аналогична сильно скрученной пружинѣ. При разрядѣ Лейденской банки скрытая энергія ея превращается въ явную, и мы видѣли, что эта явная энергія можетъ обнаружиться въ видѣ теплоты. Въ этомъ случаѣ скрытая электрическая энергія превращается въ явную энергію теплоты.

О потенціалѣ.

Въ теоріи электрическихъ явленій играетъ весьма важную роль *потенціалъ*. Чтобы познакомиться съ этою величиною, удобнѣе всего будетъ провести аналогію между потенціаломъ и величиною, которая играетъ подобную же роль въ ученіи о теплотѣ, какую играетъ потенціалъ въ ученіи объ электричествѣ, а именно аналогію между потенціаломъ и температурою. Мы пока предположимъ, что имѣемъ дѣло съ однимъ только положительнымъ электричествомъ; для отрицательнаго электричества все сказанное будетъ имѣть мѣсто съ небольшими измѣненіями главнымъ образомъ относительно направленій.

Представимъ себѣ, что въ какомъ нибудь мѣстѣ, около какой нибудь точки A, сосредоточено нѣкоторое количество положительнаго электричества; вслѣдствіе этого пространство, окружающее частицу, приходитъ въ особое состояніе, что̀ обнаруживается уже тѣмъ, что въ каждомъ проводникѣ, помѣщенномъ въ этомъ пространствѣ, является электрическая индукція. Измѣненія, происходящія въ этомъ пространствѣ, можно сравнить съ измѣненіями, происходящими въ тѣлѣ, если теплоту распредѣлить въ немъ неравномѣрно, т. е. если устроить такъ, чтобы разныя точки тѣла имѣли различную температуру.

Нѣкоторое опредѣленное количество электричества мы примемъ за единицу количества электричества и предположимъ, что около разсматриваемой точки A сосредоточено m единицъ электричества; возьмемъ затѣмъ другую точку B, находящуюся отъ точки A на разстояніи r линейныхъ единицъ — хотя бы r дюймъ. Въ такомъ случаѣ величина потенціала P въ точкѣ B получится, если мы число m раздѣлимъ на число r, т. е. $P=\frac{m}{r}$. Это означаетъ, что потенціалъ въ B пропорціоналенъ

количеству электричества, сосредоточеннаго около A, и обратно пропорціоналенъ разстоянію точки B отъ точки A. Для краткости можно, по этому, сказать, что *потенціалъ P въ точкѣ B равняется количеству электричества m, раздѣленному на разстояніе r.* Положимъ, что около точки A сосредоточены 5 единицъ электричества, а разстояніе r равняется 7 дюймамъ, въ такомъ случаѣ потенціалъ P будетъ равняться $^5/_7$

Изъ этого опредѣленія потенціала ясно, что потенціалъ въ данной точкѣ B будетъ тѣмъ бóльше, чѣмъ бóльшее количество электричества m сосредоточено около точки A, и что потенціалъ въ нѣкоторой точкѣ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ дальше она находится отъ точки A. Переходя отъ одной точки къ другой, мы послѣдовательно будемъ встрѣчать различныя значенія потенціала. *Единица потенціала* будетъ очевидно потенціалъ въ точкѣ B, если разстояніе r равно линейной единицѣ и если около A сосредоточена единица количества электричества ($m = 1$): тогда $P = \frac{1}{1} = 1$.

Мы знаемъ, что если вблизи нѣкотораго количества положительнаго электричества, сосредоточеннаго около точки A, находится проводникъ, то въ немъ происходитъ индукція и положительное электричество стремится удалиться отъ точки A. Мы можемъ проще выразиться, сказавъ, что *положительное электричество стремится отъ мѣстъ бóльшаго потенціала къ мѣстамъ меньшаго потенціала; отрицательное же электричество, наоборотъ, стремится отъ мѣстъ меньшаго къ мѣстамъ бóльшаго потенціала.* Уже здѣсь бросается въ глаза нѣкоторая аналогія съ температурой. Теплота всегда стремится отъ мѣстъ бóльшей температуры къ мѣстамъ меньшей температуры: разница будетъ, пожалуй, та, что электричество стремится черезъ проводникъ весьма быстро, между тѣмъ какъ переходъ теплоты отъ болѣе теплыхъ къ болѣе холоднымъ мѣстамъ, сравнительно, будетъ весьма медленный. Если мы имѣемъ не одну только частицу электричества, а множество частицъ: m_1, m_2, m_3 и т. д., и какая нибудь точка B будетъ отъ этихъ частицъ находиться въ разстояніяхъ r_1, r_2, r_3 и т. д., то потенціалъ въ точкѣ B будетъ сумма потенціаловъ отдѣльныхъ количествъ электричества, т. е.,

$$P = \frac{m_1}{r_1} + \frac{m_2}{r_2} + \frac{m_3}{r_3} + \cdots$$

или для краткости весьма наглядно:

$$P = \Sigma \frac{m}{r},$$

гдѣ Σ означаетъ «сумма величинъ». Если мы имѣемъ дѣло не только съ отдѣльными частицами электричества, но съ электрическими массами, распредѣленными непрерывно по поверхности проводника, то понятно, что, въ сущности, будемъ имѣть безконечно большое количество безконечно малыхъ частицъ, и также разстояній r; потенціалъ выразится

какъ сумма безконечнаго множества членовъ. Такая сумма безконечнаго множества безконечно малыхъ величинъ называется въ математикѣ интеграломъ, а самая задача его вычисленія рѣшается въ интегральномъ исчисленіи. Во всякой точкѣ потенціалъ *) имѣетъ опредѣленное значеніе и мы можемъ подъискать всѣ тѣ точки, въ которыхъ потенціалъ имѣетъ одно и то же значеніе; всѣ эти точки будутъ находиться на нѣкоторой поверхности. Такая поверхность, во всѣхъ точкахъ которой потенціалъ имѣетъ одно и то же значеніе, называется *поверхностью уровня*. Если мы имѣемъ проводникъ, то въ каждой его точкѣ положительное электричество всегда будетъ течь по направленію перпендикулярному къ поверхности уровня

Совершенно то же самое относится и къ температурѣ. Если внутри тѣла, въ которомъ теплота распредѣлена неравномѣрно, провести такую поверхность, чтобы во всѣхъ ея точкахъ температура была одна и та же, то въ каждомъ мѣстѣ такой поверхности теплота всегда будетъ течь по направленію, перпендикулярному къ поверхности постоянной температуры.

Если въ двухъ точкахъ B и C потенціалъ будетъ не одинаковъ, то мы говоримъ, что между этими точками существуетъ *разность потенціаловъ*. Мы видѣли, что положительное электричество всегда течетъ отъ мѣстъ бóльшаго потенціала къ мѣстамъ меньшаго потенціала, а отрицательное въ обратномъ. Быстрота этого теченія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ разность потенціаловъ. Точно также теплота всегда течетъ отъ мѣста болѣе высокой температуры къ мѣстамъ менѣе высокой температуры и быстрота этого теченія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ разность температуръ Вслѣдствіе того, что между двумя точками, имѣющими нѣкоторую разность потенціала, происходитъ теченіе положительнаго электричества въ одну сторону, а отрицательнаго въ обратную, принято говорить, что между такими двумя точками дѣйствуетъ *электровозбудительная сила*; впередъ мы можемъ считать имѣющими одинаковый смыслъ выраженія: разность потенціала и электровозбудительная сила.

Вообразимъ себѣ нѣкоторый проводникъ, на поверхности котораго распредѣлилось электричество; оно, непремѣнно, должно распредѣлиться такъ, чтобы во всѣхъ внутреннихъ точкахъ потенціалъ имѣлъ одно и то же значеніе. Это понятно, потому что если бы въ какихъ нибудь двухъ точкахъ внутри проводника потенціалъ имѣлъ различныя значенія, то произошло бы между ними разложеніе нейтральнаго электри-

---

*) Вмѣсто потенціалъ, было бы точнѣе сказать потенціальная функція, но мы сохраняемъ болѣе простое выраженіе, во первыхъ, такъ какъ оно общеупотребительное во многихъ комбинаціяхъ (напр. разность потенціаловъ), и, во вторыхъ, такъ какъ о потенціалѣ двухъ количествъ электричества другъ на друга намъ говорить не придется.

чества и теченіе положительнаго электричества отъ той точки, гдѣ потенціалъ больше, къ той, гдѣ онъ меньше, и отрицательнаго въ обратномъ. Равновѣсіе не могло бы, слѣдовательно, имѣть мѣста. Итакъ, *для равновѣсія необходимо, чтобы электричество распредѣлилось такимъ образомъ по поверхности проводника, чтобы внутри его во всѣхъ точкахъ потенціалъ имѣлъ одно и то же значеніе.* Теплота распредѣляется сама по себѣ внутри тѣла такъ, чтобы во всѣхъ его точкахъ температура имѣла одно и то же значеніе, — опять мы видимъ аналогію между температурою и потенціаломъ.

Положимъ теперь, что мы имѣемъ два наэлектризованныхъ тѣла (проводника); пусть внутри одного изъ нихъ потенціалъ имѣетъ постоянное значеніе P_1, внутри другаго пусть онъ имѣетъ постоянное значеніе P_2. Если соединить эти два тѣла проводникомъ, напр. металлическою проволокою или привести ихъ въ непосредственное соприкосновеніе, то тотчасъ произойдетъ переливаніе электричества отъ того тѣла, въ которомъ потенціалъ выше (т. е. больше), къ тому, въ которомъ потенціалъ ниже, и окончательно электричество распредѣлится на обоихъ тѣлахъ такъ, чтобы потенціалъ въ обоихъ тѣлахъ имѣлъ одно и то же значеніе. Если мы возьмемъ два тѣла неодинаковой температуры и соединимъ ихъ проводникомъ тепла или приведемъ ихъ въ соприкосновеніе, то теплота отъ тѣла съ высшею температурою перейдетъ къ тѣлу съ нисшею температурою и, въ концѣ-концовъ, распредѣлится такъ, что температура въ обоихъ тѣлахъ будетъ одна и та же.

Мы считаемъ нѣкоторую температуру за нуль и отъ нея въ одну сторону положительныя и въ другую сторону отрицательныя температуры. Точно также нѣкоторый потенціалъ считается за нуль. Вообще *принято потенціалъ внутри земли считать за нуль.* Отсюда ясно, что и во всѣхъ проводникахъ, соединенныхъ съ землею, потенціалъ тоже будетъ равенъ нулю. Затѣмъ въ тѣлахъ, наэлектризованныхъ положительнымъ электричествомъ, мы считаемъ потенціалъ положительнымъ, а въ тѣлахъ, наэлектризованныхъ отрицательнымъ электричествомъ,—отрицательнымъ.

Если мы имѣемъ разныя тѣла, то для того, чтобы возвысить ихъ температуру (хотя бы на 1°) требуется, какъ извѣстно, различное количество теплоты; то количество теплоты, которое потребно, чтобы данное тѣло нагрѣть на одинъ градусъ, называется *теплоемкостію* этого тѣла. Точно также, для того, чтобы какое нибудь тѣло (проводникъ) довести до нѣкотораго потенціала, требуется на его поверхности распредѣлить нѣкоторое количество электричества; для того, чтобы довести до того же потенціала другое тѣло, требуется, вообще говоря, и другое количество электричества. То количество электричества, которое потребно, чтобы данное тѣло довести до потенціала, равнаго единицѣ—называется *электрической емкостію* тѣла. Очевидно, вполнѣ ясна аналогія между

электрическою емкостію и теплоемкостію; даже названія приняты подобныя.

Если мы соединимъ между собою два наэлектризованныя тѣла, то электричество распредѣлится между ними такъ, что потенціалъ въ обоихъ тѣлахъ будетъ одинъ и тотъ же; при этомъ количества электричества на обоихъ тѣлахъ будутъ не одинаковы; оно распредѣлится пропорціонально электрическимъ емкостямъ тѣлъ.

Если мы приведемъ въ соприкосновеніе два нагрѣтыя тѣла, то теплота между ними распредѣлится такъ, что, въ концѣ концовъ, они будутъ имѣть одну и ту же температуру; но количества теплоты будутъ не одинаковы, а будутъ пропорціональны теплоемкостямъ тѣлъ.

Перейдемъ къ разсмотрѣнію другой аналогіи, которая, такъ сказать, въ другихъ направленіяхъ, уяснитъ намъ свойства электрическаго потенціала, *аналогіи между потенціаломъ и высотою жидкости въ какомъ нибудь сосудѣ.* Потенціалъ въ какой нибудь точкѣ B можно уподобить высотѣ жидкости въ нѣкоторомъ сосудѣ и двѣ точки B и C, въ которыхъ потенціалъ различенъ, можно уподобить двумъ сосудамъ, въ которыхъ жидкость налита до различныхъ высотъ; проводникъ, соединяющій двѣ точки, можетъ быть уподобленъ трубкѣ, соединяющей эти сосуды. Мы видѣли, что положительное электричество всегда течетъ отъ точекъ бо̀льшаго потенціала къ точкамъ меньшаго потенціала; аналогично жидкость черезъ трубки течетъ отъ сосуда съ большею высотою жидкости къ сосуду, въ которомъ эта высота меньше. Если соединить проводниками два тѣла, въ которыхъ потенціалы были различны, то электричество перейдетъ отъ тѣла съ бо̀льшимъ потенціаломъ къ тѣлу съ меньшимъ потенціаломъ и, въ концѣ концовъ, распредѣлится такъ, что потенціалъ въ обоихъ тѣлахъ будетъ одинъ и тотъ же. Если соединить трубками два сосуда съ различными высотами жидкости, то жидкость, въ концѣ концовъ, установится въ обоихъ сосудахъ на одинаковой высотѣ.

На данномъ тѣлѣ—проводникѣ—электричество всегда распредѣляется такъ, что въ немъ вездѣ потенціалъ имѣетъ одно и то же значеніе; въ данномъ сосудѣ высота жидкости будетъ вездѣ одна и та же. Если мы имѣемъ множество тѣлъ—проводниковъ — и всѣхъ ихъ соединимъ между собою, то электричество распредѣлится по нимъ такъ, что внутри всѣхъ этихъ тѣлъ потенціалъ будетъ имѣть одно и то же значеніе. Если мы соединимъ между собою множество сосудовъ, въ которыхъ будетъ находиться одна и та же жидкость, то она распредѣлится между сосудами такъ, что высота жидкости во всѣхъ сосудахъ будетъ одинаковая. При этомъ, какъ уже было сказано, количество электричества въ тѣлахъ будетъ не одинаково, но пропорціонально электрической ихъ емкости; совершенно подобно этому и жидкость, хотя будетъ стоять во всѣхъ сосудахъ на одной высотѣ, но количество ея въ нихъ будетъ не

одинаково и будетъ распредѣлено между сосудами пропорціонально ихъ емкости.

Разность потенціаловъ между двумя точками аналогична разности высотъ жидкости въ двухъ сосудахъ. Если жидкость изъ болѣе высокаго сосуда переливается въ болѣе низкій, то въ первомъ сосудѣ количество жидкости будетъ уменьшаться; опускаясь въ болѣе низкій сосудъ, переливаясь внизъ, жидкость способна производить работу. Если положительное электричество течетъ между двумя точками, имѣющими разность потенціала, то оно способно при этомъ произвести нѣкоторую работу. Работа, которую способна произвести опускающаяся жидкость, пропорціональна количеству жидкости и разности высотъ. Совершенно также и *работа, которую можетъ произвести перемѣщающееся электричество, пропорціональна количеству электричества и разности потенціаловъ*. Мы видѣли, что работа протекающаго (при разрядѣ Лейденской банки) электричества можетъ имѣть результатомъ теплоту. Если мы соединимъ два сосуда, въ которыхъ одна и та же жидкость находится на различныхъ уровняхъ, то начнется нѣкоторое колебательное взадъ и впередъ переливаніе жидкости, которое окончится вслѣдствіе тренія жидкости въ болѣе или менѣе узкой соединительной трубкѣ; скрытая энергія приподнятой жидкости явится, такимъ образомъ, въ видѣ теплоты въ соединительной трубкѣ.

Аналогично: если мы соединимъ два тѣла, наэлектризованныя до различныхъ потенціаловъ, то явится разрядъ; мы видѣли, что этотъ разрядъ будетъ колебательный, совершенно подобно тому, какъ и теченіе жидкости будетъ колебательное; въ концѣ концовъ, электризація исчезнетъ, а вмѣстѣ съ нею и скрытая электрическая энергія; зато явится явная тепловая энергія въ соединительной проволокѣ, которая вслѣдствіе разряда нагрѣвается.

Если опускающаяся изъ высшаго сосуда жидкость производитъ какую нибудь работу, то теплота будетъ выдѣляться въ меньшемъ количествѣ; точно также, при перемѣщеніи электричества отъ мѣстъ большаго потенціала къ мѣстамъ меньшаго потенціала, выдѣляется меньшее количество теплоты, если это перемѣщеніе сопровождается производствомъ какой нибудь работы.

Если къ какому нибудь тѣлу A, на поверхности котораго распространилось положительное электричество, мы приблизимъ другое тѣло B, соединенное съ землею, то, какъ мы видѣли, на этомъ тѣлѣ произойдетъ электрическая индукція; положительное электричество уйдетъ въ землю, останется отрицательное, которое даетъ во всемъ окружающемъ его пространствѣ отрицательный потенціалъ, слѣдовательно и внутри тѣла A, въ которомъ уже имѣется потенціалъ положительный; къ положительной величинѣ прибавится несомнѣнно меньшая отрицательная, вслѣдствіе чего положительная величина уменьшится. Это приводитъ

насъ къ весьма важному результату, что отъ приближенія къ наэлектризованному проводнику другаго проводника, соединеннаго съ землею, потенціалъ въ первомъ уменьшается, а слѣдовательно мы должны еще прибавить электричества, чтобы получить первоначальный потенціалъ (хотя бы равный единицѣ). Проще говоря: вслѣдствіе присутствія втораго тѣла B, количество электричества, которое должно накопиться на тѣлѣ A, для того, чтобы получить потенціалъ, равный единицѣ, должно увеличиться, или: *вслѣдствіе присутствія сосѣдняго проводника, соединеннаго съ землею, электрическая емкость тѣла увеличивается.*

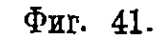
Примѣромъ тѣла, электрическая емкость котораго такимъ способомъ чрезвычайно увеличена, можетъ служить всякій конденсаторъ, Лейденская банка и, наконецъ, электрическая баттарея, въ которой присутствіе внѣшней, соединенной съ землею обкладки, съ громаднымъ на ней накопленіемъ отрицательнаго электричества, имѣетъ результатомъ, что на внутренней обкладкѣ можетъ собраться огромное количество положительнаго электричества, необходимаго для того, чтобы на ней получить сколько нибудь значительный потенціалъ.

Объ электризаціи при соприкосновеніи.

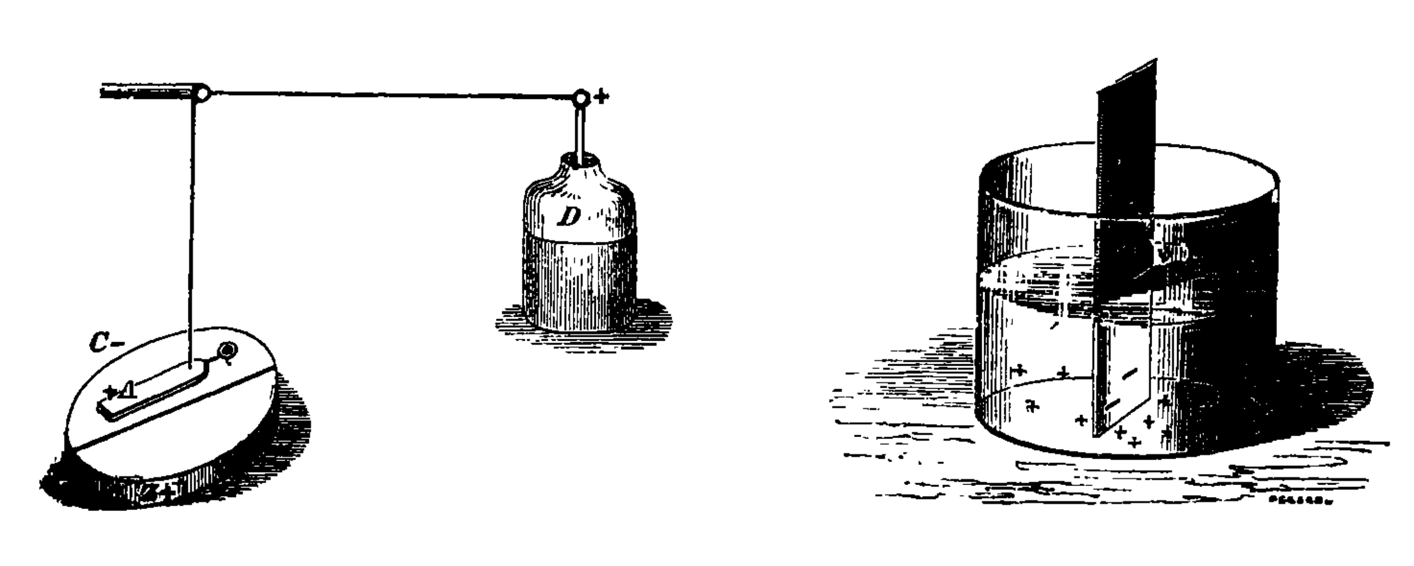
Если мы приведемъ въ соприкосновеніе *два металла*, то одинъ изъ нихъ электризуется положительно, другой отрицательно; такъ напр. если привести въ соприкосновеніе Zn (цинкъ) и Cu (мѣдь, cuprum), то первый электризуется положительно, вторая отрицательно, другими словами: *между соприкасающимися металлами проявляется разность потенціаловъ или нѣкоторая электровозбудительная сила.* Всѣ металлы можно распредѣлить въ нѣкоторый рядъ, такъ, что каждый металлъ, будучи въ соприкосновеніи съ какимъ нибудь изъ предъидущихъ, электризуется отрицательно, приведенный же въ соприкосновеніе съ однимъ изъ послѣдующихъ, электризуется положительно.

Вотъ этотъ рядъ: магній, цинкъ, свинецъ, олово, желѣзо, мѣдь, серебро, платина. Къ нему можно прибавить еще графитъ и пресованный уголь. Чувствительные электроскопы, напр. квадрантный Томсона, легко обнаруживаютъ это явленіе. Вотъ описаніе простаго прибора, также доказывающаго электризацію при соприкосновеніи. Надъ круглою пластинкою (фиг. 41), состоящею изъ двухъ половинъ, мѣдной C и цинковой Z, виситъ на изолированной проволокѣ металлическая полоска A, удержанная въ горизонтальномъ положеніи маленькимъ противовѣсомъ. Если соединить эту пластинку съ наэлектризованнымъ тѣломъ, напр. съ шарикомъ заряженной положительно Лейденской банки, то пластинка A тотчасъ же отклонится въ сторону мѣди, электризованной отрица-

тельно. Фактъ электризаціи при соприкосновеніи двухъ металловъ (открытый *Вольта* въ 1797 г.) несомнѣненъ; но гдѣ искать источникъ появившагося при этомъ электричества — сказать трудно. Многіе держатся предположенія, что электризація является исключительно вслѣдствіе соприкосновенія; это такъ называемая *контактная теорія*. Другіе предполагаютъ, что безъ какой нибудь химической реакціи, проис-



Фиг. 41. Фиг. 42.

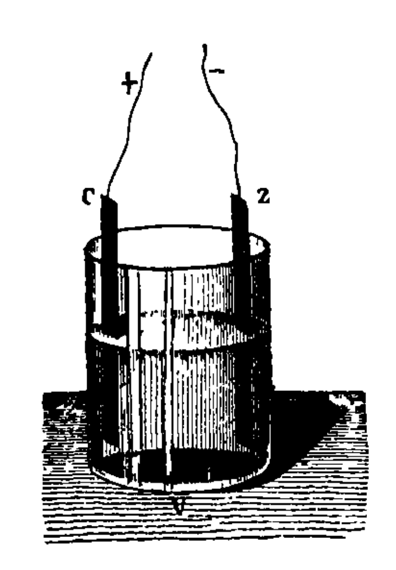


ходящей при соприкосновеніи металловъ, появленіе электричества не возможно. Они допускаютъ напр. возможность химическаго дѣйствія влажнаго воздуха на металлы и вообще, что какая нибудь скрытая химическая реакція составляетъ истинный источникъ являющагося при соприкосновеніи электричества; это *химическая теорія*. Споръ между приверженцами контактной и химической теорій пока не разрѣшенъ и еще недавно онъ вновь возникъ послѣ большаго числа работъ вѣнскаго физика *Экснера*. Если привести въ соприкосновеніе *металлъ и жидкость* (фиг. 42), то почти всегда металлъ и жидкость электризуются, и притомъ въ огромномъ большинствѣ случаевъ металлъ электризуется отрицательно, жидкость же положительно; но существуютъ исключенія. Вообще говоря, можно сказать, что чѣмъ сильнѣе жидкость и металлъ дѣйствуютъ химически другъ на друга, тѣмъ болѣе на металлѣ появляется отрицательнаго электричества, а на жидкости—положительнаго. Если пластинка цинка находится въ соприкосновеніи съ подкисленною (10% сѣрной кислоты) водою, то на цинкѣ появляется отрицательное электричество, а на жидкости—положительное, и то же самое произойдетъ, если вмѣсто цинка взять мѣдь, но электризація металла и жидкости будетъ въ послѣднемъ случаѣ не столь сильная, какъ въ первомъ.

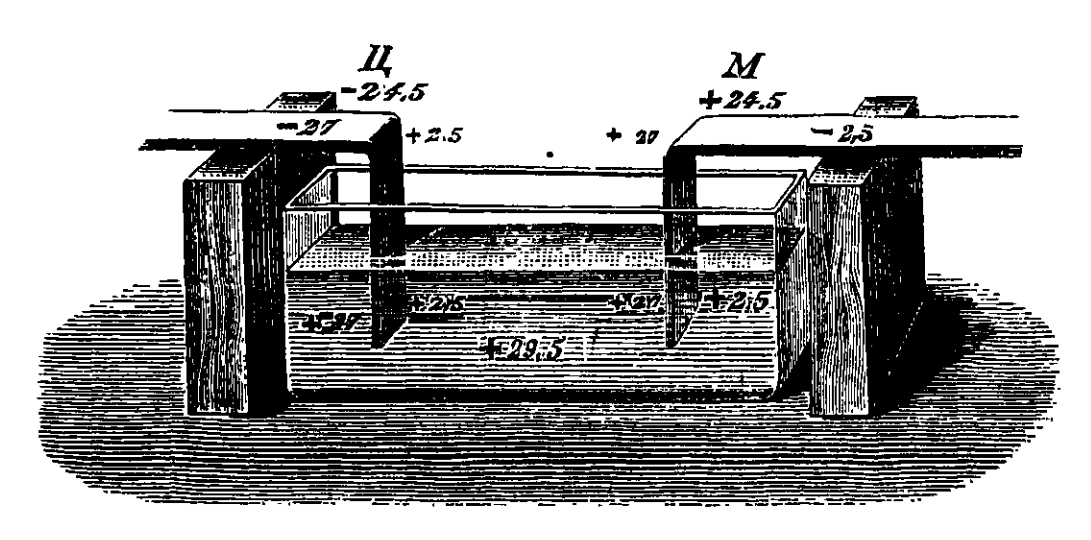
Перейдемъ къ случаю соприкосновенія *двухъ металловъ съ жидкостью*. Если въ сосудъ *V* (фиг. 43), содержащій подкисленную воду, опустить рядомъ, не соприкасающіяся между собою, пластинку мѣди *C* и пластинку цинка *Z*, то соприкосновеніе между разнородными тѣлами произойдетъ въ двухъ мѣстахъ: 1) между мѣдью и кислотою и

2) между цинкомъ и кислотою и въ обоихъ мѣстахъ произойдетъ электризація одного тѣла положительнымъ электричествомъ и другаго—отрицательнымъ. Всякая причина, вслѣдствіе которой одно тѣло электризуется положительно, а другое отрицательно, т. е. на одномъ тѣлѣ является положительный потенціалъ, а на другомъ отрицательный — называется, какъ уже было сказано, электровозбудительною силою. Мы можемъ поэтому сказать, что въ разсматриваемомъ сосудѣ, въ двухъ мѣстахъ, дѣйствуетъ электровозбудительная сила; спрашивается, что будетъ результатомъ совокупности этихъ двухъ дѣйствій? Цинкъ, приходя въ соприкосновеніе съ кислотою, сравнительно сильно электризуется отрицательно, а жидкость — положительно. Но положительное электричество не остается на жидкости, а переходитъ на мѣдь. Съ другой стороны, жидкость, въ соприкосновеніи съ мѣдью, также электризуется положительно. Здѣсь явится сравнительно очень незначительная электровозбудительная сила: на мѣди будетъ, выражаясь коротко, маленькій минусъ, на кислотѣ маленькій плюсъ, который перейдетъ на цинкъ. На цинкѣ окажется—такимъ образомъ, большой минусъ и маленькій плюсъ, а на мѣди, — большой плюсъ и маленькій минусъ. Мы знаемъ, что разноименныя электричества взаимно уничтожаются и что остается только избытокъ одного изъ нихъ. Очевидно, слѣдовательно, что на цинкѣ останется избытокъ отри-

Фиг. 43.



Фиг. 44.



цательнаго электричества, а на мѣди — положительнаго. Все сказанное разъяснено на фиг. 44 въ видѣ численнаго примѣра. Итакъ, оставляя въ сторонѣ вопросъ о внутреннихъ причинахъ разсматриваемаго явленія, удержимъ только въ памяти полученный нами окончательный результатъ, выражающій другими словами, что на цинкѣ получается отрицательный потенціалъ, положимъ $-P$, а на мѣди положительный $+P$. Мы можемъ

сказать, что вслѣдствіе нѣкоторыхъ силъ, дѣйствующихъ внутри сосуда, на цинкѣ и мѣди является разность потенціаловъ, которая будетъ равняться разности между—P и $+P$, т. е. будетъ равна 2 P. Эта разность потенціаловъ служитъ мѣрою электровозбудительной силы, дѣйствующей внутри разсматриваемаго сосуда (фиг. 43), который называется простымъ *электрическимъ элементомъ*.

И такъ, внутри элемента дѣйствуетъ электровозбудительная сила, на двухъ металлахъ возбуждается опредѣленной величины разность потенціаловъ. Если цинкъ соединить съ землею, то отрицательное электричество уйдетъ и на цинкѣ останется потенціалъ равный нулю, но, какъ показываютъ опыты, въ то же время удваивается количество положительнаго электричества, находящагося на мѣди и потенціалъ на мѣди дѣлается равнымъ 2 P; разность потенціаловъ, выражающая величину электровозбудительной силы, дѣйствующей внутри элемента, остается прежняя. Вмѣсто того, чтобы помѣщать пластинки мѣди и цинка внутри стклянки, мы можемъ изъ мѣди и цинка вырѣзать кружки и затѣмъ составить столбъ слѣдующимъ образомъ: возьмемъ пластинку мѣди, на нее положимъ кусочекъ сукна, пропитаннаго подкисленною водою, на нее пластинку цинка, затѣмъ опять мѣдь, сукно, цинкъ и т. д.; оканчиваемъ цинковою пластинкою. Такой столбъ (фиг. 45) называется *Вольтовымъ столбомъ*. Между первою и послѣднею пластинкою этого столба явится значительная разность потенціаловъ. Если соединимъ цинкъ съ землею, то потенціалъ на мѣди тотчасъ удвоится.

Фиг. 45.

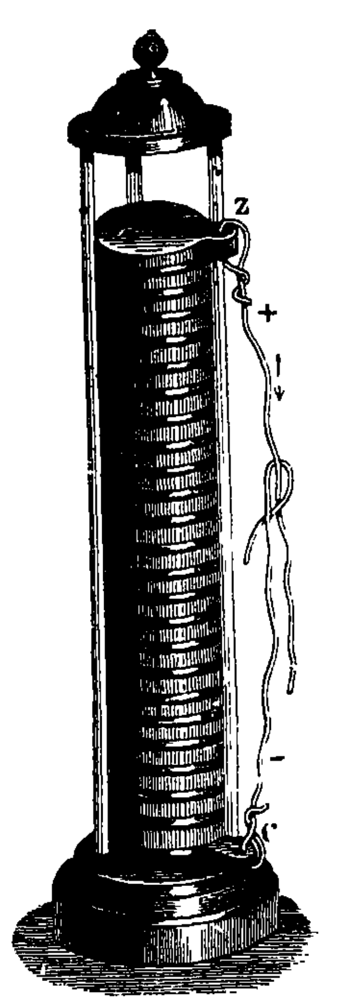
О гальваническомъ токѣ.

Положимъ, что имѣется простой электрическій элементъ (фиг. 43) или Вольтовъ столбъ (фиг. 45); мы знаемъ, что на мѣди и на цинкѣ обнаруживаются разноименныя электризаціи, которыя распространяются и по проволокамъ, если таковыя будутъ припаяны къ названнымъ металламъ (см. фиг. 43). На мѣди появится положительный потенціалъ, на цинкѣ—отрицательный.

Теперь спрашивается, что произойдетъ, если соединить между собою концы этихъ проволокъ? Мы знаемъ, что положительное электричество всегда течетъ отъ мѣстъ бо̀льшаго къ мѣстамъ меньшаго потенціала, а отрицательное наоборотъ—отъ мѣстъ меньшаго къ мѣстамъ бо̀льшаго потенціала. На

основаніи этого мы должны думать, что послѣ соединенія проволокъ тотчасъ же начнется теченіе положительнаго электричества по направленію отъ мѣди къ цинку, а отрицательнаго въ противоположномъ, и нужно думать, съ перваго взгляда, что теченія электричествъ очень скоро окончатся, потому что положительное электричество уничтожитъ отрицательный потенціалъ въ цинкѣ, а отрицательное электричество, перешедшее на мѣдь, уничтожитъ находящійся на ней положительный потенціалъ. Оказывается однако, что сила, дѣйствующая внутри элемента, непрерывно поддерживаетъ постоянную разность потенціаловъ, т. е. непрерывно удерживаетъ одинъ металлъ при положительномъ потенціалѣ, другой при отрицательномъ, вслѣдствіе чего въ соединительной проволокѣ начинается непрерывное теченіе положительнаго электричества въ одномъ направленіи и отрицательнаго въ другомъ.

Фиг. 46.



Эту силу принято называть *электровозбудительною силою элемента*. Мы увидимъ ниже, откуда является энергія, необходимая для того, чтобы поддержать разность потенціаловъ, и гдѣ слѣдуетъ искать источникъ этой силы, но пока постараемся только удержать въ памяти тотъ фактъ, что электровозбудительная сила элемента поддерживаетъ на мѣди и на цинкѣ постоянную разность потенціаловъ и что вслѣдствіе этого въ соединительной проволокѣ должно явиться непрерывное теченіе положительнаго электричества отъ мѣди къ цинку, а отрицательнаго отъ цинка къ мѣди, при чемъ внутри элемента продолжается это теченіе, т. е. положительное электричество, дойдя до цинка, черезъ элементъ идетъ обратно къ мѣди, а отрицательное электричество, дойдя до мѣди, черезъ жидкость идетъ отъ мѣди къ цинку, такъ что въ результатѣ мы имѣемъ два замкнутыя, противоположныя другъ другу, теченія двухъ электричествъ; въ совокупности они представляютъ то, что называется *электрическимъ или гальваническимъ токомъ*.

Конечно, можно спросить: какимъ же образомъ въ одной и той же проволокѣ могутъ одновременно происходить два теченія двухъ разноименныхъ электричествъ? Мы на этотъ вопросъ отвѣта дать не можемъ. Дуалистическая гипотеза приводитъ къ такому взгляду на электрическій токъ и мы, по неимѣнію лучшаго, сохранимъ какъ этотъ взглядъ, такъ и всѣ термины, которые введены въ науку на основаніи такого взгляда, надѣясь на то, что когда нибудь, въ будущемъ, выработается болѣе вѣрный взглядъ на сущность электрическаго тока, на то, что происхо-

дитъ въ соединительной проволокѣ, чтò и заставитъ насъ тогда измѣнить эти термины. По унитарной гипотезѣ электрическій токъ представляетъ особый видъ непрерывнаго движенія (поступательнаго вдоль проволоки, а можетъ быть и вращательнаго) того единственнаго электрическаго агента, который допускается унитарною гипотезою. Но, не входя ни въ какія дальнѣйшія разсужденія относительно сущности электрическаго тока, мы можемъ, по крайней мѣрѣ съ внѣшней стороны, изучить тѣ явленія и дѣйствія, которыя происходятъ около проволоки, чрезъ которую проходитъ токъ, и пользоваться этими дѣйствіями на практикѣ. Что вообще въ разсматриваемой проволокѣ что-то особое происходитъ, это доказывается хотя бы уже тѣмъ, что *внутри этой проволоки происходитъ непрерывное выдѣленіе тепла.*

Познакомимся съ нѣкоторыми общеупотребительными терминами.

Гальваническій элементъ вмѣстѣ со всѣми соединительными проволоками называется *цѣпью*; если концы проволокъ не соединены между собою, то цѣпь называется *разомкнутою*; соединеніе этихъ концовъ называется *замыканіемъ* цѣпи. Если цѣпь не замкнута, то конецъ, который идетъ отъ мѣди, т. е. отъ *положительнаго полюса*, какъ принято выражаться, называется *анодомъ*, а конецъ проволоки, идущей отъ *отрицательнаго полюса*, т. - е. отъ цинка — *катодомъ*. Оба конца вмѣстѣ называютъ *электродами.*

Если между концами проволокъ помѣстимъ какое нибудь тѣло или, вообще, какой нибудь проводникъ, то цѣпь будетъ замкнута, и мы говоримъ, что взятое тѣло *введено въ цѣпь.*

Мы уже видѣли, что дуалистическая гипотеза привела насъ къ представленію объ электрическомъ токѣ, какъ о совокупности двухъ противуположныхъ по направленію теченій электричествъ. Какое же направленіе мы примемъ за направленіе тока? Общепринято то направленіе, по которому течетъ положительное электричество, называть направленіемъ самаго тока; такъ, что мы говоримъ, что *токъ внѣ элемента идетъ отъ мѣди къ цинку* (отъ положительнаго полюса къ отрицательному), *а внутри—отъ цинка къ мѣди* (отъ отрицательнаго полюса къ положительному), см. фиг. 46.

Въ тотъ моментъ, когда замыкается цѣпь, на мѣди начинается выдѣленіе большаго количества пузырьковъ. Химическое изслѣдованіе показываетъ, что пузырьки эти состоятъ изъ водорода; оказывается, что цинкъ вытѣсняетъ водородъ, заключающійся въ сѣрной кислотѣ, и становится на мѣсто этого водорода, что внутри элемента начинается химическое дѣйствіе,—какъ иногда выражаются, происходитъ раствореніе цинка въ сѣрной кислотѣ. Когда цинкъ вытѣсняетъ водородъ сѣрной кислоты, происходитъ исчезновеніе химической скрытой энергіи и взамѣнъ ея, какъ при горѣніи угля, — является явная энергія, тепловая. Оказывается, что если цѣпь будетъ замкнута, то въ элементѣ

выдѣляется меньше теплоты, чѣмъ если бы мы въ томъ же сосудѣ просто растворили цинкъ въ сѣрной кислотѣ. Въ элементѣ при замкнутой цѣпи является недочетъ, происходитъ нѣкоторая потеря энергіи— и вотъ эта, теряющаяся здѣсь, энергія и есть первоначальный источникъ всѣхъ дѣйствій электрическаго тока; эта исчезнувшая въ элементѣ химическая энергія проявляется въ цѣпи въ видѣ явной энергіи электрическаго тока, которая тотчасъ же превращается въ другой видъ явной энергіи—въ теплоту. Итакъ, мы имѣемъ результатъ: внутри элемента происходитъ химическая реакція, но соотвѣтствующая ей теплота не вся проявляется; вмѣсто того она проявляется во всѣхъ частяхъ цѣпи; электрическій токъ какъ бы уноситъ теплоту изъ элемента и распредѣляетъ ее болѣе или менѣе равномѣрно по всей цѣпи.

Мы видимъ, что съ одной стороны источникъ электрической энергіи тока совершенно ясенъ: это химическая энергія составныхъ частей элемента; мы видимъ, что съ другой стороны и окончательный результатъ появленія тока столь же ясенъ: это явная тепловая энергія. Но среднее звено, составляющее переходъ отъ химической энергіи, исчезающей въ элементѣ, къ тепловой энергіи, появляющейся въ цѣпи, т. е. самый токъ, остается непонятымъ. Мы только видимъ, что это звено есть особенная форма явной энергіи, которая способна весьма быстро превращаться въ тепловую энергію. Но сущность и характеръ этой разновидности явной энергіи, т. е. сущность явной энергіи электрическаго тока, до сихъ поръ не разгадана.

Мы видѣли, что разность потенціаловъ въ двухъ точкахъ проводника можно уподобить разности высотъ жидкости въ двухъ сосудахъ; электровозбудительную силу элемента, которая поддерживаетъ эту разность потенціаловъ, можно уподобить нѣкоторой силѣ, напр. силѣ пароваго насоса, которая поддерживаетъ постоянную разность высотъ, хотя бы воды въ двухъ сосудахъ, непрерывно гоняя воду изъ нижняго сосуда въ верхній. Если между полюсами элемента нѣтъ соединительной проволоки или она разомкнута, то не происходитъ теченія электричества; если упомянутые два сосуда не соединены особою трубою (кромѣ, конечно, той, черезъ которую происходитъ накачиваніе воды изъ нижняго въ верхній) или если есть такая труба, но она перегорожена закрытымъ краномъ, то переливанія жидкости изъ верхняго сосуда обратно въ нижній не происходитъ.

Какъ сказано, электровозбудительную силу элемента, дѣйствующую внутри элемента, мы можемъ, во всѣхъ отношеніяхъ, уподобить паровой машинѣ, накачивающей воду изъ одного сосуда въ другой. Если цѣпь не замкнута, то очень скоро на одномъ электродѣ, на анодѣ, накопится опредѣленное количество положительнаго электричества, на другомъ, на катодѣ—опредѣленное количество отрицательнаго, явится нѣкоторая разность потенціаловъ и затѣмъ дальнѣйшее разложеніе ней-

тральнаго электричества или увеличеніе разности потенціаловъ уже не будетъ происходить. Если упомянутые два сосуда не будутъ соединены трубками, то при дѣйствіи паровой машины очень скоро будетъ достигнута такая разность высотъ жидкости въ обоихъ сосудахъ, которую увеличить еще далѣе паровая машина не будетъ уже въ состояніи. Если же мы замкнемъ цѣпь, то начнется непрерывное переливаніе электричества по соединительной проволокѣ, а *электровозбудительная сила элемента будетъ непрерывно поддерживать постоянную разность потенціаловъ*. Если два сосуда соединить особою трубкою (или открыть кранъ), то послѣдуетъ непрерывное переливаніе воды изъ верхняго сосуда въ нижній, а *паровая машина* непрерывно будетъ перекачивать воду обратно изъ нижняго сосуда въ верхній и *будетъ непрерывно поддерживать одну и ту же разность высотъ* жидкости въ сосудахъ.

Аналогію эту можно провести еще далѣе. Въ паровой машинѣ источникомъ энергіи служитъ горящій уголь, *химическая скрытая* энергія угля и окружающаго воздуха превращается, при дѣйствіи паровой машины, въ *скрытую* энергію приподнятой воды, которая, послѣ переливанія жидкости черезъ трубку обратно въ нижній сосудъ, превратится сперва въ *явную энергію текущей жидкости* и наконецъ *въ явную тепловую энергію*, происходящую отъ тренія жидкости объ стѣнки трубки и внутри нижняго сосуда, когда движущаяся въ немъ жидкость успокаивается.

Первоначальнымъ источникомъ энергіи служитъ въ элементѣ — *химическая энергія* цинка и окружающей его сѣрной кислоты; при разомкнутой цѣпи на электродахъ образуется нѣкоторая разность потенціаловъ, т. е. появляется *скрытая* электрическая энергія. Когда замкнутъ цѣпь, то происходитъ непрерывное переливаніе электричества, т. е. обнаруживается *явная электрическая энергія тока*, а въ результатѣ окончательно появится *тепловая энергія* въ проволокѣ и въ элементѣ. Чѣмъ короче и толще будетъ далѣе соединительная трубка, тѣмъ быстрѣе будетъ уменьшеніе высоты жидкости въ верхнемъ сосудѣ, тѣмъ быстрѣе будетъ и теченіе воды; аналогично для элемента: чѣмъ короче и толще будетъ соединительная проволока, тѣмъ быстрѣе будетъ и теченіе электричества.

Причину всѣхъ явленій электрическаго тока принято называть *динамическимъ электричествомъ*, соединяя съ этимъ выраженіемъ понятіе о чемъ-то подвижномъ. Въ отличіе отъ этого причину явленій, разсмотрѣнныхъ въ первыхъ лекціяхъ, называютъ *статическимъ электричествомъ*.

ЛЕКЦІЯ V.

Дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку. Исторія его открытія, правило Ампера, мультипликаторъ, гальваноскопъ и гальванометръ, способы наблюденій Томсона и Поггендорфа и Гаусса. Астатическія стрѣлки. *Дѣйствія гальваническаго тока:* на магнитную стрѣлку; тепловое, физіологическое, химическое, электромагнитное, на другіе токи, индукція. Понятіе о сопротивленіи. *Объ электровозбудительной силѣ элементовъ.* Законы; элементъ Даніеля. *Объ электрическомъ сопротивленіи.* Раздѣленіе проводниковъ на два класса. Вліяніе нагрѣванія, свойство стекла. Опыты Видемана и Франца. Свойство сплавовъ. Вліяніе на сопротивленіе: намагничиванія, прокаливанія, закаливанія, растяженія и сжатія. Свойства угля и селена. Единицы Якоби и Сименса. *О силѣ тока и законѣ Ома* Опредѣленіе силы тока; законъ Ома. Послѣдовательное и параллельное соединеніе элементовъ въ батареяхъ.

Дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку.

Мы видѣли въ предъидущей лекціи, что въ каждой точкѣ пространства, окружающаго наэлектризованныя тѣла, такъ называемый электрическій потенціалъ имѣетъ опредѣленное численное значеніе, вообще мѣняющееся при переходѣ къ другой точкѣ; далѣе, что положительное электричество всегда стремится отъ мѣстъ бо̀льшаго къ мѣстамъ меньшаго потенціала, а отрицательное—въ обратномъ направленіи. При такомъ переходѣ электричества изъ точки A къ точкѣ B производится работа, которая пропорціональна количеству переходящаго электричества и пропорціональна разности между потенціалами въ точкахъ A и B.

Гальваническій элементъ (фиг. 43) содержитъ въ себѣ по крайней мѣрѣ одну жидкость и вообще два металла; въ немъ дѣйствуетъ электровозбудительная сила, которая стремится на металлахъ удержать опредѣленную разность потенціаловъ. Если замкнемъ цѣпь, то устанавливается непрерывный гальваническій токъ, представляющій особенный видъ явной энергіи.

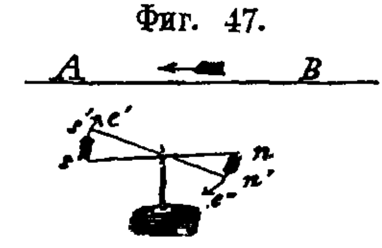
Проводникъ, напр. проволока, введенная въ замкнутую цѣпь, обладаетъ рядомъ различныхъ свойствъ, которыхъ обыкновенный проводникъ, напр. проволока, не обнаруживаетъ.

Причины новыхъ свойствъ, обнаруживающихся въ проводникѣ, конечно, слѣдуетъ искать въ токѣ, черезъ него проходящемъ; поэтому вообще не говорятъ, что проводникъ, черезъ который проходитъ токъ, производитъ опредѣленныя дѣйствія; дѣйствія эти принято называть *дѣйствіями тока.*

Одно изъ самыхъ важныхъ дѣйствій тока есть дѣйствіе его на магнитную стрѣлку. Когда гальваническій токъ проходитъ черезъ проволоку AB (фиг. 47), находящуюся вблизи магнитной стрѣлки, уста-

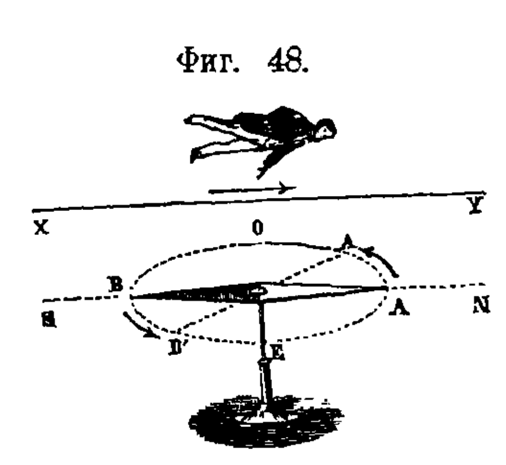
новившейся въ магнитномъ меридіанѣ (т. е. по направленію, опредѣленному мѣстнымъ значеніемъ магнитнаго склоненія), то эта стрѣлка внезапно отклоняется въ сторону; послѣ нѣсколькихъ колебаній она останавливается, но уже не въ магнитномъ меридіанѣ; она остается отклюненною въ сторону. Если цѣпь разомкнуть, то стрѣлка возвращается назадъ и послѣ нѣсколькихъ колебаній опять устанавливается въ первоначальномъ направленіи. Открытіе этого явленія приписывается *Эрштедту*, который замѣтилъ его въ 1820 г.; но слѣдуетъ упомянуть, что гораздо раньше, а именно еще въ 1802 г., итальянскій ученый *Романьези* публиковалъ мемоаръ (3 Августа), въ которомъ описалъ открытое имъ дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку. Въ Manuel du galvanisme par *Joseph Izarn* (профессоръ физики въ Лицеѣ Бонапарта), 1805 г., упоминается объ открытіи Романьези. Далѣе въ книгѣ Essai théorique et expérimental sur le galvanisme, изд. въ 1804 г., авторъ которой *Джіованни Алдини*, племянникъ знаменитаго Гальвани, сказано на стр. 191: «M. Romagnesi, physicien de Trente, a reconnu que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée». Это открытіе въ то время не было оцѣнено по достоинству; на него обратили вниманіе лишь, когда оно вторично было открыто Эрштедтомъ.

Фиг. 47.

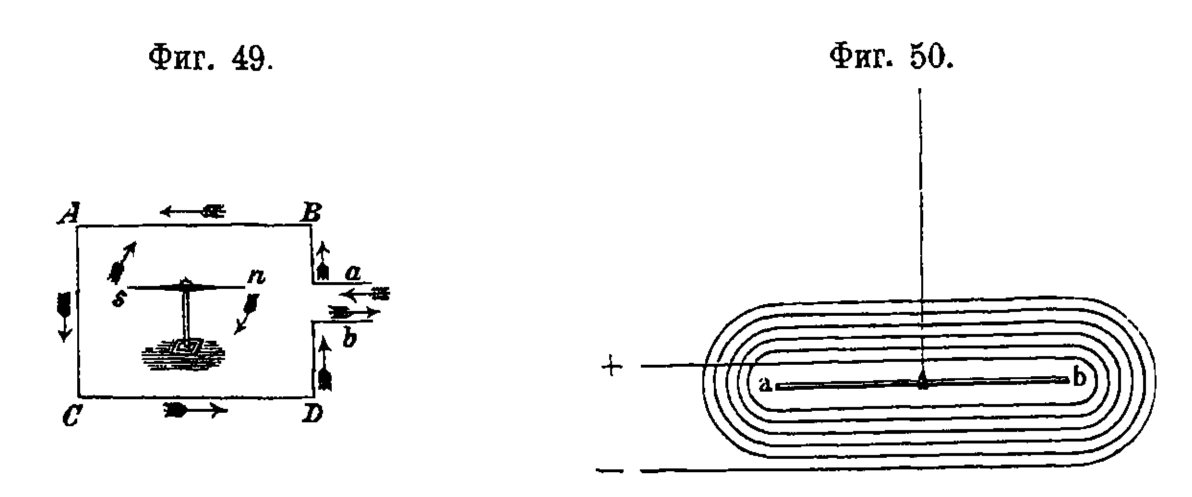


Подробно изслѣдовали дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку *Амперъ* и *Араго*. Амперъ далъ правило, по которому можно опредѣлить, въ какую сторону магнитная стрѣлка отъ дѣйствія даннаго тока должна отклониться. Правило Ампера слѣдующее: *если дана проволока и направленіе идущаго по ней тока, то слѣдуетъ представить себѣ наблюдателя, плывущаго вмѣстѣ съ токомъ и обращеннаго лицомъ къ стрѣлкѣ; тогда сѣверный полюсъ стрѣлки отклонится въ ту сторону, гдѣ находится лѣвая рука этого наблюдателя.* Если примѣнить это правило къ случаю, изображенному на фиг. 48, то легко убѣдиться, что магнитная стрѣлка отъ дѣйствія тока XY, идущаго надъ ней по направленію стрѣлки, отклонится сѣвернымъ полюсомъ A отъ читателя, т. е. какъ показано стрѣлками. Изъ правила Ампера слѣдуетъ, что всѣ части тока, окружающаго магнитную стрѣлку какъ бы вертикальною рамкою (фиг. 49), производятъ одинаково отклоняющее дѣйствіе на магнитную стрѣлку. На этомъ основанъ простой приборъ, извѣстный подъ названіемъ *мультипликатора*. Это деревянная рамка (фиг. 50), на которой намотано большое количество изолированной проволоки, концы которой проведены къ двумъ такъ наз. зажимнымъ вин-

Фиг. 48.



тамъ. Внутри рамки, которая должна быть установлена въ магнитномъ меридіанѣ, помѣщается магнитная стрѣлка. Если мультипликаторъ сое-



Фиг. 49.   Фиг. 50.

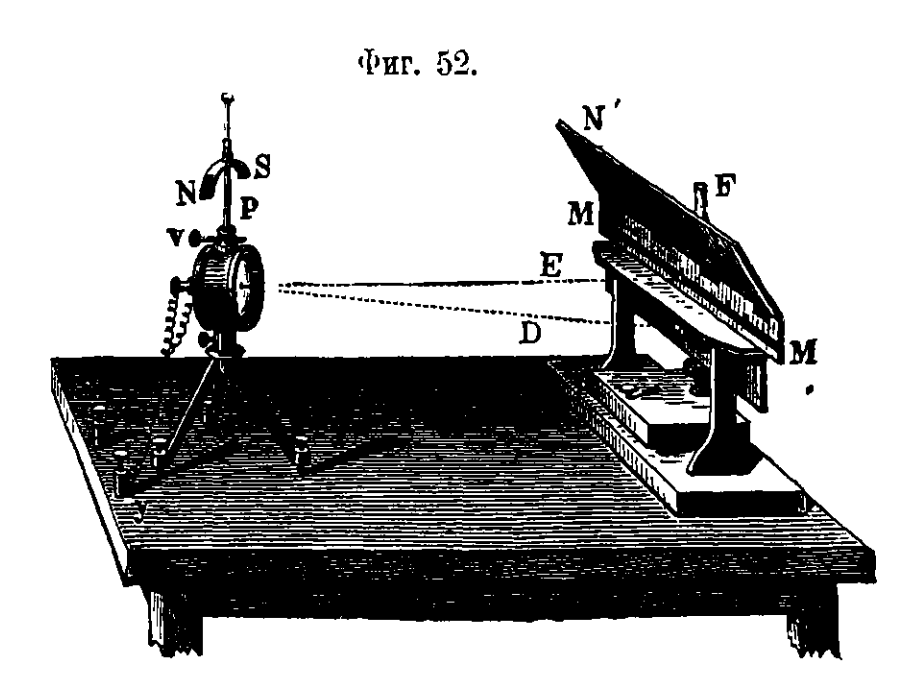
динить съ приборомъ, въ которомъ дѣйствуетъ электровозбудительная сила,—проще говоря, если ввести его въ цѣпь, то токъ будетъ прохо-

Фиг. 51.

дить по всѣмъ оборотамъ изолированной проволоки, всѣ части которой одинаково будутъ дѣйствовать на магнитную стрѣлку, такъ-что всѣ

дѣйствія будутъ суммироваться, вслѣдствіе чего даже весьма слабый токъ можетъ произвести весьма хорошо замѣтное отклоненіе стрѣлки. Приборъ, въ которомъ магнитная стрѣлка отклоняется внутри мультипликатора, называется *гальваноскопомъ.* Если есть приспособленіе для точнаго измѣренія угла отклоненія, то приборъ называется *гальванометромъ.* Въ нѣмъ магнитная стрѣлка виситъ на шелковинкѣ внутри мультипликатора (см. фиг. 51), состоящаго изъ весьма большаго числа оборотовъ проволоки. Существуютъ гальванометры, въ которыхъ мультипликаторъ содержитъ до 30,000 и болѣе оборотовъ тонкой серебряной проволоки. Магнитная стрѣлка иногда соединяется со второю немагнитною стрѣлкою, которая, вращаясь надъ горизонтальнымъ кругомъ, снабженнымъ дѣленіями, показываетъ очень ясно, на какой уголъ магнитная стрѣлка, находящаяся внутри мультипликатора, отклонилась въ сторону. Весь приборъ обыкновенно ставится подъ стеклянный колоколъ, чтобы оградить магнитную стрѣлку отъ вліянія случайныхъ теченій воздуха. Отклоненія магнитной стрѣлки внутри гальванометра могутъ быть наблюдаемы различными способами. Въ наилучшихъ, такъ называемыхъ *зеркальныхъ гальванометрахъ*, магнитная стрѣлка соединена съ легонькимъ зеркальцемъ, отъ котораго отражается лучъ свѣта, идущій отъ какого нибудь свѣтоваго источника; отражающійся въ зеркалѣ лучъ дастъ на стѣнѣ то, что обыкновенно принято называть зайчикомъ. Зеркало вращается вмѣстѣ съ магнитною стрѣлкою и при малѣйшемъ отклоненіи послѣдней происходитъ перемѣщеніе зайчика, одновременно удобно наблюдаемое многими лицами (зеркальный гальваноскопъ). Для измѣренія величины отклоненія зайчика можно поступить слѣдующимъ образомъ (зеркальный гальванометръ *Томсона*). Между лампою и приборомъ ставится доска, верхняя половина которой составляетъ шкалу (фиг. 52), а нижняя половина, которая не видна на чертежѣ, снабжена вертикальною щелью, черезъ которую свѣтъ отъ лампы падаетъ на зеркальце и даетъ зайчикъ на шкалѣ, отклоняющійся въ сторону при малѣйшемъ вращеніи зеркальца.

Фиг. 52.



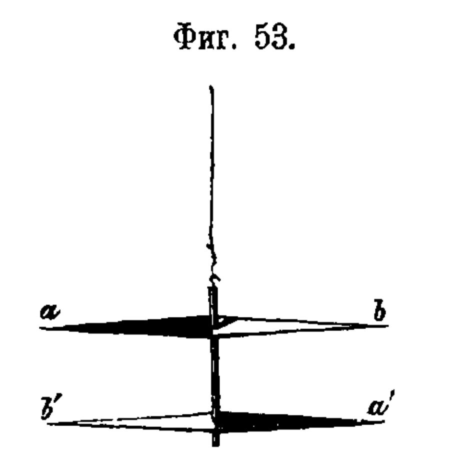
Такой способъ измѣренія примѣненъ и къ электрометру, изображенному на фиг. 35.

Не менѣе удобно и точно измѣреніе отклоненія магнитной стрѣлки

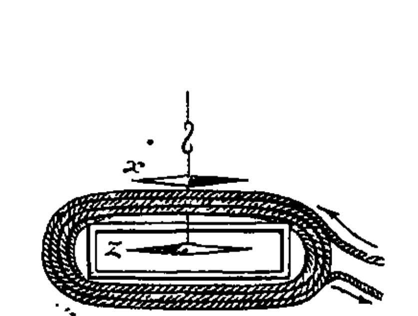
гальванометра или стрѣлки электрометра по способу *Поггендорфа* и *Гаусса*, извѣстному еще подъ названіемъ способа наблюденія посредствомъ шкалы и трубы. Сущность этого способа можетъ быть понята изъ фиг. 34-й. Здѣсь *m* прикрѣпленное къ стрѣлкѣ *a* зеркальце; противъ зеркала устанавливается зрительная труба *O*, надъ нею или подъ нею горизонтальная шкала съ дѣленіями. Нормаль къ зеркалу должна проходить какъ разъ посреди между зрительною трубою и шкалою; тогда, по извѣстнымъ законамъ отраженія свѣта, наблюдатель, глядя въ трубу, увидитъ въ ней изображеніе шкалы въ зеркальцѣ *m* и будетъ въ состояніи замѣтить на ней опредѣленное число. Если напр. лучъ, исходящій отъ какой-либо точки шкалы, попадетъ на зеркало и затѣмъ, отразившись назадъ, попадетъ въ трубу, то наблюдатель, смотря чрезъ трубу на зеркало, увидитъ дѣленіе, стоящее на шкалѣ у этой точки. При пропусканіи тока черезъ мультипликаторъ, стрѣлка отклонится въ сторону; вмѣстѣ съ нею вращается и зеркало. Тогда наблюдатель увидитъ въ трубѣ уже не среднее дѣленіе шкалы, которое онъ видѣлъ сначала, а боковое; ему покажется, что шкала какъ бы отклонилась въ сторону и посреди поля зрѣнія трубы онъ увидитъ новое число, которое, очевидно, дастъ ясное понятіе о томъ, на сколько повернулась магнитная стрѣлка.

Чтобы сдѣлать гальванометръ еще болѣе чувствительнымъ, употребляютъ такъ наз. пару *астатическихъ стрѣлокъ*. Это двѣ магнитныя стрѣлки, *ab* и *a'b'* (фиг. 53), соединенныя проволочкою и установленныя такъ, что въ одну сторону онѣ обращены различными полюсами. Одна изъ этихъ стрѣлокъ помѣщается внутри мультипликатора, а другая выше его, что схематически представлено на фиг. 54-й. Токъ, проходящій между магнитными стрѣлками, будетъ сѣверные ихъ полюсы, по правилу Ампера, отклонять въ противуположныя стороны, причемъ понятно, что двойное дѣйствіе тока на стрѣлки будетъ суммироваться и въ результатѣ получится усиленное вращеніе пары стрѣлъ. Чувствительность этого прибора увеличивается еще тѣмъ обстоятельствомъ, что сила земнаго магнитизма удерживаетъ двойную стрѣлку въ магнитномъ меридіанѣ съ весьма слабою силою. Если бы обѣ стрѣлки были одинаково сильно намагничены, то обѣ вмѣстѣ вовсе бы не установились въ магнитномъ меридіанѣ, такъ какъ сила земнаго магни-

Фиг. 53.

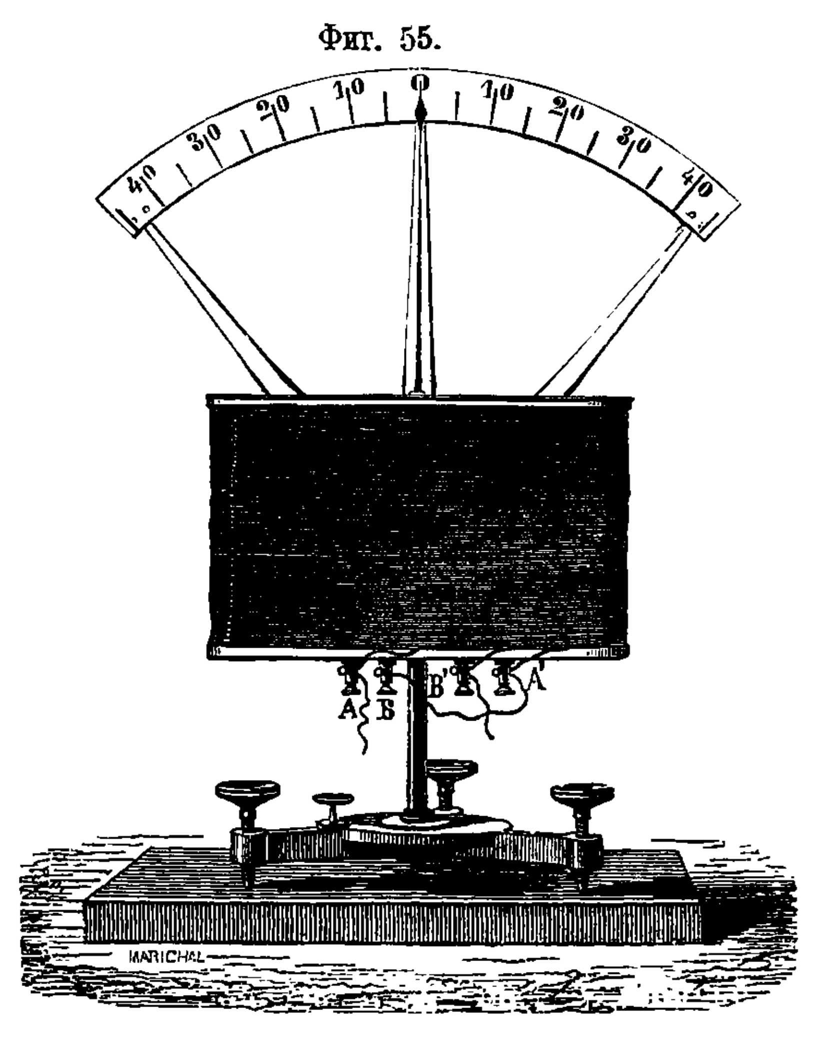


Фиг. 54.



тизма стремится установить одну стрѣлку въ одномъ, а другую—въ противуположномъ направленіи. Въ дѣйствительности однако обѣ стрѣлки никогда не будутъ вполнѣ одинаковы; одна будетъ сильнѣе намагничена, чѣмъ другая, и перевѣсъ въ этомъ отношеніи одной надъ другою опредѣлитъ ту небольшую силу, съ которою земной магнитизмъ удерживаетъ астатическую пару въ магнитномъ меридіанѣ. Такимъ образомъ сила, которая удерживаетъ стрѣлки въ магнитномъ меридіанѣ, чрезвычайно ослаблена, а дѣйствіе тока, какъ мы видѣли, значительно увеличено. Все это чрезвычайно увеличиваетъ чувствительность прибора. Когда требуется, чтобы отклоненія магнитной стрѣлки были видны многимъ наблюдателямъ одновременно, оказывается весьма удобнымъ гальваноскопъ, изображенный на фиг. 55. Въ немъ мультипликаторъ поставленъ горизонтально, и магнитъ въ немъ вращается около горизонтальной оси. Къ магниту придѣлана длинная стрѣлка, отклоняющаяся въ сторону вдоль дуги съ дѣленіями, когда черезъ приборъ пропускается токъ.

Фиг. 55.



Дѣйствія гальваническаго тока.

Въ ученіи о гальваническомъ токѣ мы главнымъ образомъ имѣемъ дѣло съ тремя величинами: съ *электровозбудительною силою элемента*, съ *сопротивленіемъ* и съ *силою тока*. Прежде всего необходимо опредѣлить точнѣе эти три величины и затѣмъ уже приступить къ подробному ихъ разсмотрѣнію.

Электровозбудительная сила элемента, о которой уже было говорено, есть та причина, которая, дѣйствуя внутри элемента, на концахъ разомкнутой цѣпи производитъ, удерживаетъ и непрерывно поддерживаетъ опредѣленную разность потенціаловъ. Мы можемъ, не входя въ сущность происходящихъ внутри элемента дѣйствій, а имѣя въ виду только результаты этихъ дѣйствій, коротко сказать, что электровозбу-

дительная сила есть та причина, которая, дѣйствуя внутри элемента, разлагаетъ нейтральныя электричества и разгоняетъ ихъ по противуположнымъ направленіямъ, гонитъ положительное электричество въ одномъ направленіи, а отрицательное—въ другомъ. Источникомъ энергіи, проявляющейся при замкнутой цѣпи, какъ уже было развито въ послѣдней лекціи, служатъ тѣ химическія реакціи, которыя происходятъ внутри элемента.

Подъ *силою тока* подразумѣвается то количество электричества, которое чрезъ какое нибудь поперечное сѣченіе проводниковъ, составляющихъ замкнутую цѣпь, протекаетъ въ единицу времени, напр. въ одну секунду. Это количество электричества должно быть одинаково во всѣхъ частяхъ цѣпи, а потому сила тока, во всѣхъ частяхъ замкнутой цѣпи, а также и внутри элемента, будетъ одна и та же. Сила тока измѣряется величиною произведеннаго имъ дѣйствія, а поэтому здѣсь будетъ умѣстно дать перечень дѣйствій тока.

Первое изъ этихъ дѣйствій нами уже разсмотрѣно: это *дѣйствіе* тока *на магнитную стрѣлку*. Токъ и магнитъ дѣйствуютъ другъ на друга. Подобно тому, какъ съ одной стороны токъ отклоняетъ въ сторону подвижной магнитъ, съ другой стороны и магнитъ, приближенный къ подвижной проволокѣ, черезъ которую проходитъ токъ, приводитъ эту проволоку въ движеніе.

Второе дѣйствіе тока—*тепловое*. Проводникъ, чрезъ который проходитъ гальваническій токъ, всегда при этомъ нагрѣвается. Нагрѣваніе въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ быть очень сильное и на этомъ основано электрическое освѣщеніе.

Третье дѣйствіе—физіологическое; это, весьма различное въ разныхъ случаяхъ, вообще весьма мало разгаданное дѣйствіе тока на организмъ, иногда для него вредное, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ цѣлебное.

Четвертое дѣйствіе—химическое. Токъ, проходя чрезъ сложныя вещества, въ нѣкоторыхъ случаяхъ разлагаетъ ихъ на химическія составныя части, а въ другихъ случаяхъ, наоборотъ, проходя черезъ смѣсь нѣсколькихъ тѣлъ, заставляетъ ихъ химически соединяться между собою.

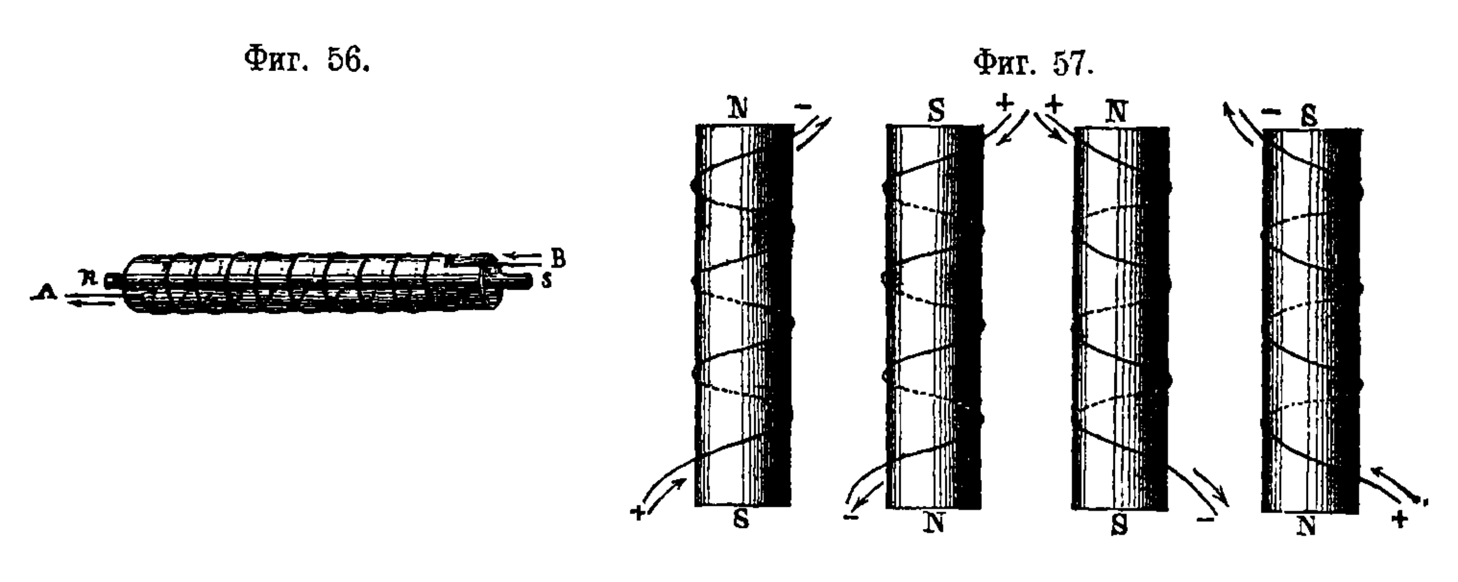
Пятое дѣйствіе—электромагнитное. Если изолированную проволоку намотать въ видѣ цилиндрической спирали и въ эту спираль вложить кусокъ желѣза (фиг. 56), то въ моментъ, когда чрезъ проволоку проходитъ токъ, желѣзный стержень мгновенно намагничивается. Это явленіе называется электромагнитизмомъ, а самое желѣзо, намагниченное такимъ образомъ—*электромагнитомъ*. Южный полюсъ S образуется на томъ концѣ стержня, глядя на который, наблюдателю представится направленіе тока совпадающимъ съ направленіемъ движенія часовой стрѣлки, какъ показано для различныхъ случаевъ на фиг. 57.

Шестое дѣйствіе есть дѣйствіе *токовъ на токи*. Если провести

токъ чрезъ подвижную проволоку и приблизить къ ней другую проволоку, чрезъ которую также проходитъ токъ, то между двумя проволоками замѣчаются различнаго рода притяженія или отталкиванія, смотря по взаимному расположенію проволокъ и направленіямъ проходящихъ черезъ нихъ токовъ.

Седьмое и послѣднее *дѣйствіе*, быть можетъ самое важное—это *индукція токовъ*. Если вблизи неподвижной проволоки, чрезъ которую

Фиг. 56. Фиг. 57.



проходитъ постоянный токъ, находятся какія нибудь металлическія тѣла, напр. замкнутыя проволоки, то въ нихъ не замѣчается никакого возбужденія токовъ. Токъ возбуждаетъ токъ въ сосѣднихъ проводникахъ во-первыхъ, когда его сила мѣняется, напр. въ тотъ моментъ, когда онъ усиливается или ослабляется, когда онъ появляется (цѣпь замыкается) или когда онъ исчезаетъ (цѣпь размыкается). Это явленіе называется гальваническою индукціею. Данный токъ мы называемъ въ этомъ случаѣ индуктирующимъ токомъ, а токъ, который появляется въ сосѣднемъ проводникѣ — индуктируемымъ. Индукція происходитъ не только, когда сила индуктирующаго тока мѣняется, но и тогда, когда мѣняется взаимное расположеніе тока и проводника, напр. когда движется проволока, черезъ которую проходитъ токъ, или когда проводникъ движется вблизи тока.

Гальваническая индукція, т. е. возбужденіе въ проводникахъ токовъ, производится не только токами, но и *магнитами*. Если въ кускѣ желѣза или стали магнитъ усиливается или ослабляется, появляется или исчезаетъ, то всякій разъ въ сосѣднемъ проводникѣ появляются кратковременные индуктированные токи. То же самое происходитъ, когда мѣняется взаимное расположеніе магнита и проводника, когда магнитъ движется вблизи проводника, или проводникъ движется вблизи магнита. Во всѣхъ этихъ случаяхъ происходитъ такъ называемая *магнито-электрическая индукція*.

Каждое изъ разсмотрѣнныхъ нами семи дѣйствій гальваническаго тока можетъ служить мѣрою силы тока. Но обыкновенно пользуются

для измѣренія силы тока только отклоненіемъ магнитной стрѣлки и лишь въ нѣкоторыхъ случаяхъ другими дѣйствіями, напр. химическимъ.

Изъ трехъ основныхъ величинъ, встрѣчающихся въ ученіи о гальваническомъ токѣ, мы упомянули объ электровозбудительной силѣ элемента и о силѣ тока.

Третья величина, которую остается разсмотрѣть — *сопротивленіе.* Если въ цѣпь, въ которую включенъ гальванометръ, ввести еще проволоку, то отклоненіе магнитной стрѣлки въ гальванометрѣ уменьшается; слѣдовательно, сила тока, отъ введенія этой проволоки, т. е. отъ увеличенія длины цѣпи, уменьшается; мы говоримъ, что токъ, который мы заставили пройдти еще черезъ лишнюю проволоку, встрѣчаетъ въ ней какъ бы особое, новое сопротивленіе, вслѣдствіе чего его сила уменьшается. Разныя проволоки, введенныя въ цѣпь, различно уменьшаютъ силу тока, т. е. имѣютъ различное сопротивленіе. Прежде всего оказывается, что сопротивленіе проволоки зависитъ отъ матеріала, изъ котораго она состоитъ, и затѣмъ, что сопротивленіе есть въ сущности понятіе обратное проводимости, т. е. чѣмъ тѣло лучше проводитъ электричество, тѣмъ меньше будетъ его сопротивленіе, и наоборотъ, чѣмъ хуже проводимость, тѣмъ больше сопротивленіе. Поэтому всѣ тѣла, которыя намъ извѣстны какъ хорошіе проводники, напр. металлы, имѣютъ сравнительно малое сопротивленіе и тѣла, извѣстныя какъ худые проводники, имѣютъ большое сопротивленіе, т. е. введеніе ихъ въ цѣпь значительно уменьшаетъ силу тока. Далѣе сопротивленіе проводника пропорціонально длинѣ проводника и обратно пропорціонально площади поперечнаго его сѣченія, или, напр. при кругломъ сѣченіи, квадрату его толщины. Сопротивленіе w выражается такимъ образомъ формулою

$$w = k \frac{l}{d^2},$$

гдѣ l длина, d толщина проволоки и k множитель пропорціональности, значеніе котораго легко получится, если положить $l=1$ и $d=1$. Тогда $w=k$, т. е. k есть сопротивленіе единицы длины проволоки при толщинѣ равной единицѣ и зависитъ уже только отъ вещества, изъ котораго состоитъ проволока.

Эта величина k называется *удѣльнымъ сопротивленіемъ* даннаго вещества. Можно было бы провести аналогію между сопротивленіемъ току и сопротивленіемъ движущейся по трубѣ жидкости. Чѣмъ длиннѣе труба и чѣмъ она тоньше, тѣмъ большее сопротивленіе встрѣтитъ въ ней движущаяся жидкость. Разрывъ въ цѣпи соотвѣтствуетъ какъ бы перегородкѣ или крану внутри трубы.

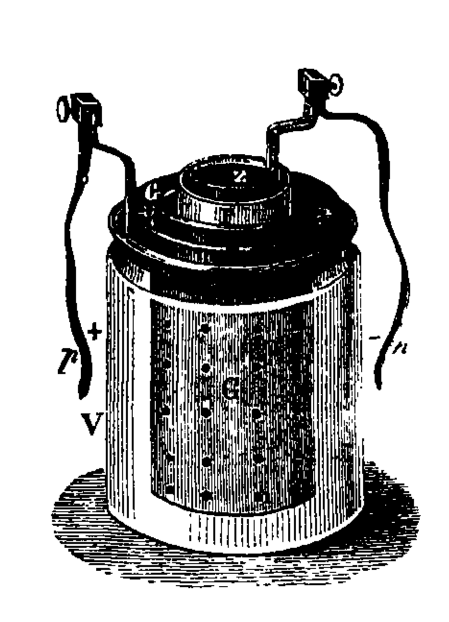
Понятно, что не только проволока, вновь введенная въ цѣпь, имѣетъ сопротивленіе, но что сопротивленіе имѣютъ всѣ части цѣпи. Сопротивленіе всей цѣпи принято раздѣлять на двѣ части, на внутреннее сопротивленіе, т. е. сопротивленіе тѣхъ элементовъ, которые введены въ

цѣпь, и внѣшнее сопротивленіе, т. е. сопротивленіе совокупности всѣхъ остальныхъ частей, изъ которыхъ состоитъ цѣпь: проволоки, гальванометръ, разные приборы, введенные въ цѣпь и т. д.

Объ электровозбудительной силѣ элемента.

Электровозбудительная сила, дѣйствующая внутри элемента и поддерживающая на концахъ разомкнутой цѣпи опредѣленную разность потенціаловъ, *зависитъ исключительно отъ тѣхъ веществъ, изъ которыхъ составленъ элементъ.* Электровозбудительная сила элемента не зависитъ отъ его величины или формы; маленькій и большой элементы, если они составлены изъ тѣхъ же веществъ, имѣютъ одинаковую электровозбудительную силу, величина которой измѣряется разностію потенціаловъ на электродахъ; не слѣдуетъ забывать, однако, что при этомъ количества свободныхъ электричествъ на металлахъ будутъ различны. На большой пластинкѣ, хотя бы мѣди, собирается бо̀льшее количество электричества, чѣмъ на малой. Понятно, что для того, чтобы потенціалы были одинаковы, какъ на большой, такъ и на малой пластинкахъ, количества электричества должны быть пропорціональны емкостямъ этихъ двухъ пластинокъ. Итакъ, если мы имѣемъ большой элементъ и маленькій, то электровозбудительная сила въ нихъ одинакова, однако количества свободнаго электричества, находящіяся на разныхъ частяхъ элементовъ, пропорціональны ихъ емкостямъ. Большой и маленькій элементы отличаются, главнымъ образомъ, внутреннимъ сопротивленіемъ. Какъ мы видѣли, сопротивленіе тѣла тѣмъ меньше, чѣмъ больше его поперечное сѣченіе; поэтому ясно, что *большой элементъ*, электроды (металлы или уголь) котораго имѣютъ большую поверхность, представляетъ *гораздо меньшее сопротивленіе, чѣмъ маленькій.*

Фиг. 58.



Существуетъ огромное число различно устроенныхъ элементовъ съ различными электровозбудительными силами; мы ихъ подробно разсмотримъ впослѣдствіи. Ограничимся теперь указаніемъ на одинъ изъ наиболѣе распространенныхъ элементовъ—на *элементъ Даніеля.* Онъ состоитъ (фиг. 58) изъ сосуда, въ который вставленъ цилиндрическій стаканъ r изъ необожженной, пористой глины. Въ сосудъ наливается крѣпкій растворъ мѣднаго купороса (сѣрномѣдной соли) и вставляется мѣдный цилиндръ G (иногда снабженный многими отверстіями), окружающій такимъ образомъ глиняный ста-

канъ, въ который вставляется цинковый стержень и наливается разбавленная сѣрная кислота (до 10% кислоты). Къ мѣди и цинку припаяны проволоки *p* и *n*. Иногда цинковый листъ и кислота помѣщаются въ пространствѣ между сосудомъ и стаканомъ, а въ послѣднемъ—мѣдь и растворъ купороса.

Электровозбудительная сила элемента Даніеля иногда принимается за единицу электровозбудительной силы и не рѣдко обозначается буквою *D*. Такъ называемую абсолютную единицу электровозбудительной силы, называемую *вольтомъ*, мы разсмотримъ впослѣдствіи.

Объ электрическомъ сопротивленіи.

Мы уже видѣли, что сопротивленіе проводника, а также обратная ему величина, проводимость, зависятъ отъ матеріала, изъ котораго состоитъ проводникъ. Проводники раздѣляются на два класса. *Проводники перваго класса*, это такіе, чрезъ которые токъ проходитъ, не производя въ нихъ химическихъ разложеній. Къ проводникамъ перваго класса принадлежатъ прежде всего металлы, которые, по современному взгляду, разлагаемы быть не могутъ: сплавы, уголь, графитъ, разныя сѣрныя соединенія металловъ и, наконецъ, разнаго рода перекиси, напримѣръ перекись марганца. Къ *проводникамъ втораго класса*, главнымъ образомъ, принадлежатъ расплавленныя или растворенныя соли и кислоты. При прохожденіи чрезъ нихъ тока, онѣ разлагаются на составныя части.

При измѣненіи *температуры* сопротивленіе проводниковъ мѣняется. Сопротивленіе проводниковъ перваго класса при нагрѣваніи увеличивается. Замѣчательное явленіе представляетъ стекло, сопротивленіе котораго при нагрѣваніи въ высшей степени быстро уменьшается. Такъ, при 200° сопротивленіе стекла, въ произвольныхъ единицахъ, выражается числомъ 2582, при нагрѣваніи его до 250° сопротивленіе уменьшается до 158, при 300° оно равно 16,8 и при 400° уже только 8,4. При температурѣ болѣе низкой, чѣмъ 200°, сопротивленіе стекла весьма велико, а при обыкновенной комнатной температурѣ стекло имѣетъ столь громадное сопротивленіе, что оно можетъ быть причислено къ непроводникамъ.

Видеманъ и Францъ показали, что для металловъ электропроводность пропорціональна теплопроводности, чтò подтверждается слѣдующими числами; полагая, что для серебра теплопроводность и электропроводность выражены числами 100, имѣемъ:

	Электропроводность.	Теплопроводность.
Серебро . . .	100	100
мѣдь	79,3	73,6
цинкъ	27,3	28,1
олово	17,0	14,8

Чрезвычайно много интереснаго представляетъ электропроводность сплавовъ. Оказывается, что всѣ металлы можно раздѣлить на двѣ группы, группу *А*, въ которую входятъ: свинецъ, олово, кадмій и цинкъ, и группу *Б*, въ которую входятъ висмутъ, ртуть, сурьма, желѣзо, алюминій, золото, мѣдь, серебро и др. Сопротивленіе сплавовъ, составленныхъ изъ металловъ первой группы, будетъ среднее между сопротивленіями отдѣльныхъ частей сплава, а сопротивленіе сплавовъ изъ металловъ второй группы, въ большинствѣ случаевъ, гораздо большее, чѣмъ сопротивленіе каждой отдѣльной части,—или, иначе говоря: проводимость сплавовъ изъ металловъ второй группы меньше, чѣмъ проводимость составныхъ частей. Обозначимъ, напр., проводимость серебра числомъ 100, проводимость золота будетъ 75; сплавъ, состоящій изъ 50% серебра и 50% золота, имѣетъ проводимость 14,6; еще одинъ примѣръ: пусть серебро имѣетъ проводимость 100, тогда для мѣди получимъ 93; сплавъ, состоящій изъ 61% серебра и 39% мѣди, имѣетъ проводимость равную 65, т. е. опять меньшую, чѣмъ проводимость составныхъ частей.

Весьма ничтожная примѣсь металла изъ группы *А* къ металлу группы *Б* значительно увеличиваетъ сопротивленіе этого втораго металла. Проводимость ртути отъ примѣси незначительнаго количества другаго металла вообще увеличивается.

Въ физическомъ кабинетѣ Императорской Русской Академіи Наукъ въ Петербургѣ въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ былъ сдѣланъ рядъ изслѣдованій измѣненія сопротивленія проводниковъ отъ разныхъ причинъ (авторомъ этихъ лекцій). Чрезвычайно малыя измѣненія сопротивленій были измѣрены посредствомъ замѣчательнаго прибора, построеннаго академикомъ Якоби, такъ называемаго «ртутнаго реостата», принадлежащаго Академіи Наукъ.

Въ 1876 г. было изслѣдовано вліяніе *намагничиванія* на электрическое сопротивленіе желѣза. Оказалось, что отъ намагничиванія сопротивленіе желѣза увеличивается отъ 1 до 1,00043.

Прокаливаніе жесткихъ проволокъ, изслѣдованное въ 1877 году, имѣетъ замѣчательное вліяніе на ихъ сопротивленіе. Были изслѣдованы проволоки стальныя, желѣзныя, латунныя, мѣдныя, нейзильберовыя, проволоки изъ алюминіевой бронзы, изъ сплава платины и иридія, изъ сплава мѣди и серебра, цинковыя, алюминіевыя и свинцовыя. Оказалось, что сопротивленія всѣхъ жесткихъ проволокъ, исключая свинцовой, при первомъ прокаливаніи уменьшаются. Такъ, напр., сопротивленіе проволоки изъ сплава серебра и мѣди при первомъ прокаливаніи уменьшается на цѣлыхъ 11%. При дальнѣйшемъ прокаливаніи сопротивленіе вновь увеличивается. Напр. сопротивленіе жесткой стальной проволоки сначала уменьшается на 4,8%, а при дальнѣйшемъ прокаливаніи увеличивается на 8,6%. При *закаливаніи*, т. е. мгновенномъ опу-

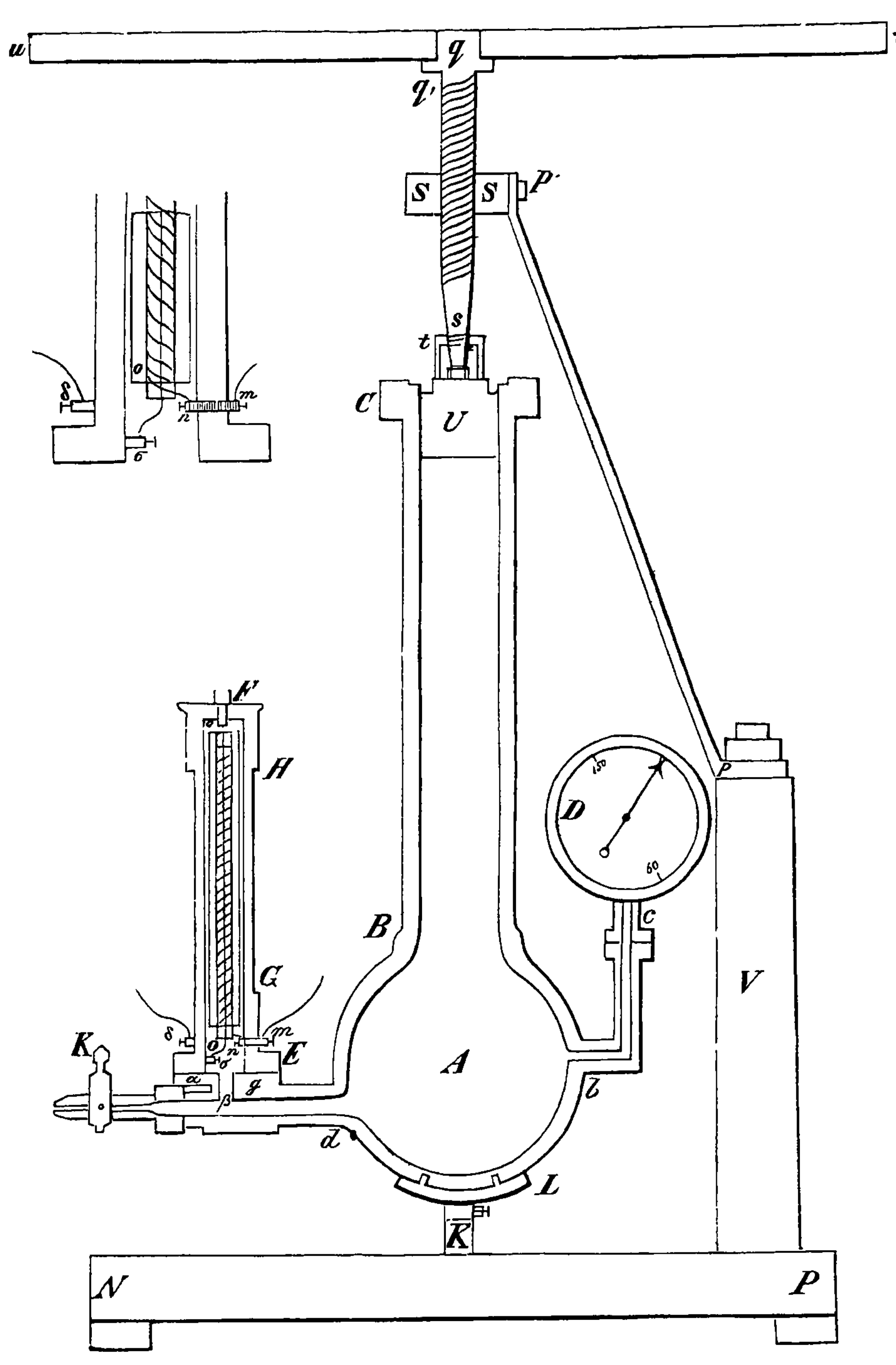
сканіи раскаленной проволоки въ холодную воду, сопротивленіе увеличивается, напр. до $1^1/_2{}^0/_0$ для сплава мѣди и серебра; исключеніемъ оказалась нейзильберовая проволока, сопротивленіе которой на 1,8% уменьшилось при мгновенномъ закаливаніи.

Дѣйствіе *растяженія* проволоки на ея сопротивленіе гальваническому току изслѣдовано было въ 1877 г. (раньше еще многими другими наблюдателями). При растягиваніи проволока удлиняется и въ тоже время утончается; отъ обѣихъ этихъ причинъ сопротивленіе должно увеличиться. Оказывается, однако, что сопротивленіе проволоки при ея растяженіи увеличивается болѣе, чѣмъ бы это должно было быть отъ одного удлиненія и утонченія, т. е. при растяженіи проволоки увеличивается ея удѣльное сопротивленіе. Между прочимъ, оказалось, что для латунной проволоки относительное измѣненіе удѣльнаго сопротивленія при растяженіи представляетъ приблизительно 0,4 отъ относительнаго измѣненія длины.

Наконецъ, въ 1880 г., впервые вообще, было изслѣдовано измѣненіе сопротивленія проволоки при всестороннемъ ея *сжатіи*. Латунная, мѣдная и свинцовая проволоки были помѣщены въ водѣ, которая сдавливалась до 60 атмосферъ. Для этого служилъ приборъ, изображенный на фиг. 59; онъ состоялъ изъ желѣзнаго толсто-стѣннаго сосуда A, наполненнаго водою, въ вертикальную цилиндрическую часть котораго посредствомъ винта qs и длиннаго стержня uv могъ быть вдавленъ поршень U. Сосудъ A съ одной стороны соединенъ съ манометромъ D, опредѣляющимъ обнаруживающееся внутри прибора давленіе въ атмосферахъ. Съ другой стороны сосудъ A трубкою d соединенъ съ цилиндромъ GH, внутри котораго помѣщалась сперва широкая стеклянная трубка и затѣмъ болѣе узенькая стеклянная трубочка o, вокругъ которой намотана испытуемая проволока. Концы проволоки соединены съ зажимными винтами n и σ, изъ которыхъ первый, составляя одно цѣлое съ винтомъ m, тщательно изолированъ отъ металлической стѣнки цилиндра GH. Нижняя часть этого цилиндра изображена въ увеличенномъ видѣ на отдѣльномъ чертежѣ. Чтобъ ввести проволоку въ цѣпь, надо было электроды соединить съ винтами m и δ. Опыты производились при 4^0, такъ какъ при этой температурѣ температура воды не мѣняется при сдавливаніи. Не входя въ дальнѣйшія подробности, укажемъ на результаты. Оказалось, что сопротивленіе латунной и мѣдной проволокъ, при всестороннемъ сжатіи, равняющемся давленію одной атмосферы, увеличивается на одну милліонную долю; сопротивленіе свинцовой проволоки при тѣхъ же условіяхъ увеличивается въ 10 разъ болѣе.

Уголь представляетъ замѣчательное исключеніе; при нагрѣваніи его сопротивленіе уменьшается, такъ, напр. извѣстно, что когда употребляемые въ такъ-называемой Эдисоновой лампѣ угольныя нити накалены, во время свѣченія лампы, то сопротивленіе ихъ составляетъ только по-

Фиг. 59.



ловину того сопротивленія, которое имѣютъ угольныя нити, когда онѣ холодны.

Селенъ—химически простое тѣло (элементъ), сходное съ сѣрою,—обладаетъ совершенно исключительнымъ свойствомъ. Его сопротивленіе мѣняется *при освѣщеніи*, а именно освѣщенный селенъ имѣетъ меньшее сопротивленіе, чѣмъ не освѣщенный.

Сопротивленіе растворовъ, вообще говоря, тѣмъ меньше, чѣмъ растворъ крѣпче, но все же оно сравнительно съ сопротивленіемъ серебра громадно и выражается числами, колеблющимися около числа десять милліоновъ—т. е. жидкости вообще примѣрно въ 10,000,000 хуже проводятъ электричество, чѣмъ металлы. Иногда при опредѣленной крѣпости раствора наблюдается максимумъ проводимости, которая при дальнѣйшемъ сгущеніи раствора уменьшается. Такъ, напр. Генрихсенъ нашелъ въ 1878 г., что растворъ сѣрной кислоты въ водѣ имѣетъ наименьшее сопротивленіе, когда въ немъ заключается 32% кислоты. *Нагрѣваніе* уменьшаетъ сопротивленіе растворовъ солей, кислотъ и т. д. Сопротивленіе газообразныхъ тѣлъ громадно, но удалось замѣтить, что водородъ проводитъ лучше, чѣмъ воздухъ; углекислота, напротивъ, проводитъ хуже. При нагрѣваніи сопротивленіе газовъ уменьшается.

За единицу сопротивленія было предложено покойнымъ академикомъ *Якоби* сопротивленіе мѣдной проволоки, длина которой 1 метръ, толщина же которой равняется 1 миллим. До недавняго времени повсюду употреблялась единица сопротивленія, извѣстная подъ названіемъ единицы *Сименса. Это сопротивленіе ртутнаго столба въ 1 метръ длины и 1 кв. миллим. поперечнаго сѣченія.*

Такъ называемую абсолютную единицу сопротивленія, называемую *омомъ*, мы разсмотримъ впослѣдствіи.

О силѣ тока и о законѣ Ома.

Какъ выше сказано, сила тока есть то количество электричества, которое въ единицу времени протекаетъ черезъ любое поперечное сѣченіе цѣпи. Сила тока опредѣляется *закономъ Ома: въ данной цѣпи сила тока пропорціональна электровозбудительной силѣ элемента и обратно пропорціональна сопротивленію всей цѣпи.* Если мы силу тока обозначимъ черезъ J, электровозбудительную силу черезъ E, сопротивленіе черезъ R, то законъ Ома выразится формулою

$$J = k\frac{E}{R}.$$

Сопротивленіе R состоитъ изъ 2 частей, изъ внутренняго сопротивленія W и внѣшняго сопротивленія w, такъ что нашу формулу можно написать въ такомъ видѣ

$$J = k\frac{E}{W + w}.$$

Что изображаетъ множитель k? Если мы имѣемъ цѣпь, въ которой дѣйствуетъ электровозбудительная сила, равная единицѣ и полное сопротивленіе которой равно также единицѣ, то мы получимъ $J = k$, т. е. k есть сила тока, получающаяся, если электровозбудительная сила равна единицѣ и вся цѣпь имѣетъ сопротивленіе равное единицѣ.

Принимая именно эту силу тока за единицу силы тока, мы получимъ

$$J = \frac{E}{R} = \frac{E}{W + w}.$$

Электровозбудительная сила равна, какъ мы видѣли, разности потенціаловъ на электродахъ разомкнутой цѣпи. Если эти потенціалы V_1 и V_2, получаемъ

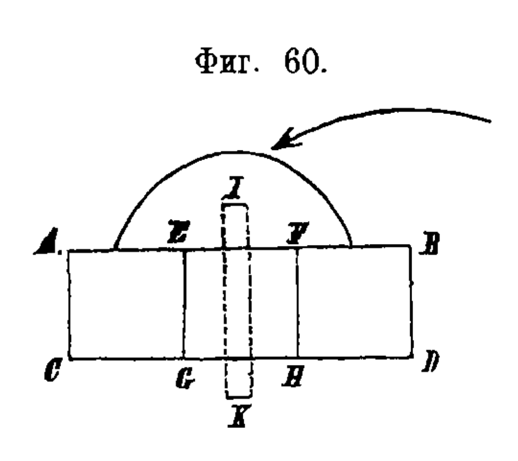
$$J = \frac{E}{R} = \frac{E}{W + w} = \frac{V_1 - V_2}{W + w}.$$

Такъ называемую абсолютную единицу силы тока, называемую *амперомъ*, мы разсмотримъ впослѣдствіи.

Значеніе закона Ома уяснится, если мы воспользуемся имъ для рѣшенія задачи, какая получится сила тока при соединеніи нѣсколькихъ элементовъ вмѣстѣ въ такъ называемую *гальваническую батарею?* 2 элемента могутъ быть соединены между собою или *послѣдовательно*, или *параллельно*. *Послѣдовательнымъ* называется такое соединеніе 2-хъ элементовъ, когда цинкъ одного элемента соединенъ съ мѣдью слѣдующаго. Въ такой цѣпи электровозбудительная сила будетъ равняться 2 E, если электровозбудительная сила одного элемента есть E. Въ самомъ дѣлѣ: каждый элементъ дѣйствуетъ самостоятельно и служитъ для другаго элемента частію цѣпи, или какъ бы внѣшнимъ проводникомъ; въ каждомъ изъ этихъ элементовъ дѣйствуетъ электровозбудительная сила, разгоняющая электричества въ противуположныя стороны. Очевидно, что дѣйствіе этихъ двухъ элементовъ будетъ равняться суммѣ дѣйствій каждаго взятаго въ отдѣльности; поэтому разность потенціаловъ при разомкнутой цѣпи, зависящая отъ количества электричества, будетъ вдвое больше, чѣмъ при одномъ элементѣ, а это и значитъ, что электровозбудительная сила удвоилась. Понятно, что внутреннее сопротивленіе двухъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, вдвое больше сопротивленія одного элемента. *Параллельнымъ* соединеніемъ двухъ элементовъ называется такое соединеніе, когда положительные полюсы обоихъ элементовъ соединены вмѣстѣ и отрицательные соединены вмѣстѣ, и затѣмъ, отъ каждой изъ этихъ паръ проведены соединительныя проволоки. Утверждаемъ, что въ этомъ случаѣ электровозбудительная сила обоихъ элементовъ вмѣстѣ будетъ та же самая, какъ электровозбудительная сила одного элемента. Это можетъ быть объяснено различно; напр. такимъ образомъ: въ одномъ элементѣ

образуется на мѣди потенціалъ $+V$, на цинкѣ потенціалъ $-V$. Въ другомъ точно также на мѣди потенціалъ $+V$, на цинкѣ потенціалъ $-V$. Оба куска мѣди соединены и на обоихъ кускахъ имѣется одинъ и тотъ же потенціалъ. Итакъ, на обоихъ кускахъ мѣди и на соединительной проволокѣ имѣется при разомкнутой цѣпи одинъ и тотъ-же потенціалъ: точно также оба куска цинка находятся при общемъ потенціалѣ $-V$. Отсюда ясно, что при разомкнутой цѣпи разность потенціаловъ на электродахъ будетъ та же самая, какъ и разность потенціаловъ на электродахъ одного элемента. Это-же самое можетъ быть объяснено, болѣе наглядно, слѣдующимъ образомъ. Мы видѣли, что электровозбудительная сила элемента не зависитъ отъ формы и величины элемента, а только отъ веществъ, входящихъ въ составъ его. Вообразимъ, что куску цинка дана форма листа $ABDC$ (фиг. 57), и та же форма дана куску мѣди. Если изъ пластинокъ мѣди и цинка вырѣзать среднюю часть $EFHG$, то электровозбудительная сила элемента не измѣнится; если теперь между образовавшимися такимъ образомъ пластинками $AEGC$ и $BFHD$ поставить перегородку, хотя бы изъ стекла, то опять-таки ничего не измѣнится, сила тока въ проволокѣ, соединяющей двойную мѣдную пластинку съ двойною цинковою, останется прежняя, равно какъ и разность потенціаловъ на электродахъ разомкнутой цѣпи. Но легко видѣть, что вставленіемъ перегородки мы какъ разъ одинъ элементъ замѣнили двумя, соединенными параллельно. Электровозбудительная сила при этомъ не измѣнилась.

Фиг. 60.



Два элемента, соединенные параллельно, тожественны съ однимъ элементомъ, у котораго электроды имѣютъ двойную поверхность; откуда ясно, что внутреннее сопротивленіе двухъ элементовъ, соединенныхъ параллельно, составляетъ половину сопротивленія одного элемента.

Постараемся разрѣшить общую задачу: какая получится сила тока, если какое нибудь число элементовъ будетъ соединено послѣдовательно, и какая, если они будутъ соединены параллельно?

Электровозбудительная сила, при послѣдовательномъ соединеніи n элементовъ, будетъ въ n разъ больше, чѣмъ электровозбудительная сила E одного элемента, т. е. будетъ равна nE; внутреннее сопротивленіе будетъ также въ n разъ больше, чѣмъ сопротивленіе W одного элемента, т. е. будетъ равно nW; наружное сопротивленіе w остается безъ измѣненія. По закону Ома, сила тока J_1 въ этомъ случаѣ будетъ равна

$$J_1 = \frac{n\,E}{nW + w}.$$

Если числитель и знаменатель этой дроби раздѣлить на n, то получаемъ

$$J^1 = \frac{nE}{nW + w} = \frac{E}{W + \frac{w}{n}}.$$

Если n элементовъ соединены параллельно, то электровозбудительная сила будетъ имѣть то же значенie, какъ при одномъ элементѣ, т. е. будетъ равна E; внутреннее сопротивленiе будетъ въ n разъ меньше, чѣмъ при одномъ элементѣ, т. е. оно будетъ равно $\frac{W}{n}$. По закону Ома, сила тока J_2 въ этомъ случаѣ будетъ равна

$$J_2 = \frac{E}{\frac{W}{n} + w}.$$

Одинъ элементъ даетъ силу тока

$$J = \frac{E}{W + w}.$$

Первая изъ полученныхъ нами формулъ показываетъ, что присоединенie къ одному элементу *послѣдовательно* еще другихъ элементовъ имѣетъ такое же влiянie, какъ если бы мы стали уменьшать внѣшнее сопротивленiе w. Если оно ничтожно въ сравненiи съ внутреннимъ сопротивленiемъ W, то такое уменьшенiе не имѣетъ влiянiя. Пренебрегая величиною w въ сравненiи съ W, получимъ

$$J_1 = \frac{E}{W} \text{ и } J = \frac{E}{W}.$$

т. е. $J_1 = J$;

прибавленiе, послѣдовательно, къ одному остальныхъ элементовъ не измѣнило силы тока. Если же, напротивъ, внѣшнее сопротивленiе w весьма велико въ сравненiи съ W, то уменьшенiе его весьма полезно. Пренебрегая величиною W въ сравненiи съ w, получимъ

$$J_1 = \frac{E}{\frac{w}{n}} = \frac{n\,E}{w} \text{ и } J = \frac{E}{w},$$

т. е. $J_1 = n\,J$;

прибавленiе, послѣдовательно, къ одному остальныхъ элементовъ въ n разъ увеличило силу тока. Вторая изъ полученныхъ нами формулъ показываетъ, что присоединенiе къ одному элементу *параллельно* еще другихъ элементовъ имѣетъ такое же влiянie, какъ если бы мы стали уменьшать внутреннее сопротивленiе W. Если оно ничтожно, въ сравненiи съ w, т. е. при большомъ внѣшнемъ сопротивленiи, такое уменьшенiе безполезно. Пренебрегая величиною W, получимъ

$$J_2 = \frac{E}{w} \text{ и } J = \frac{E}{w},$$

т. е. $J_2 = J$;

прибавленiе, параллельно, къ одному остальныхъ элементовъ не измѣнило силы тока. Если же напротивъ внѣшнее сопротивленiе w ничтожно, то, пренебрегая имъ, получимъ

$$J_2=\frac{E}{\frac{W}{n}}=\frac{n\ E}{W} \text{ и } J=\frac{E}{W},$$

т. е. $J_2=n\ J$;
прибавленіе къ одному, параллельно, остальныхъ элементовъ въ n разъ увеличило силу тока. Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что *при большомъ внѣшнемъ сопротивленіи w слѣдуетъ соединять элементы послѣдовательно, при маломъ внѣшнемъ сопротивленіи—параллельно.*

Численные примѣры.

I. Внѣшнее сопротивленіе w велико сравнительно съ внутреннимъ W:

$$E=100,\quad W=2,\quad w=20,\quad n=10.$$

1 элементъ . . . . $J=\frac{100}{2+20}=4{,}55,$

10 элементовъ послѣдовательно: $J_1=\frac{100}{2+\frac{20}{10}}=25,$

10 элементовъ параллельно. . . $J_2=\frac{100}{\frac{2}{10}+20}=4{,}95.$

Очевидно, что выгодно соединеніе послѣдовательное.

II. Внѣшнее сопротивленіе w мало сравнительно съ внутреннимъ W:

$$E=100,\ W=30,\ w=2,\ n=10.$$

1 элементъ. . . . . $J=\frac{100}{30+2}=3{,}13,$

10 элементовъ послѣдовательно: $J_1=\frac{100}{30+\frac{2}{10}}=3{,}31,$

10 элементовъ параллельно . . $J_2=\frac{100}{\frac{30}{10}+2}=20.$

Очевидно, что выгодно соединеніе параллельное.

Если имѣется батарея элементовъ, то можемъ соединить не только всѣ элементы послѣдовательно или всѣ параллельно, но можно еще соединять ихъ по группамъ. Положимъ, что мы имѣемъ 15 элементовъ; соединимъ по 3 элемента параллельно, т. е. составимъ изъ каждыхъ трехъ элементовъ какъ бы одинъ большой элементъ тройной поверхности. Полученныя 5 группъ соединимъ послѣдовательно. Вся батарея состоитъ, такимъ образомъ, изъ пяти элементовъ тройной поверхности.

Какая получится сила тока?

Электровозбудительная сила каждой группы равна E,—слѣдовательно, для всей батареи получимъ $5E$. Внутреннее сопротивленіе каждой группы $\frac{W}{3}$,—слѣдовательно, для всей батареи оно равно $\frac{5\ W}{3}$. По закону Ома, сила тока J въ этомъ частномъ случаѣ будетъ равна

$$J=\frac{5\ E}{\frac{5\ W}{3}+w}.$$

ЛЕКЦІЯ VI.

Приложенія закона Ома. Различные способы распредѣленія элементовъ въ батареи; наивыгоднѣйшее распредѣленіе. Рѣшеніе разныхъ задачъ. Паденіе потенціала. Соединеніе полюсовъ съ землею. Сравненіе замкнутой цѣпи съ разомкнутою. *О развѣтвленіяхъ тока.* Двѣ теоремы Кирхгофа. Простое развѣтвленіе; мостикъ Витстона и другіе случаи развѣтвленія. *Объ абсолютныхъ единицахъ:* омъ, вольтъ, амперъ, кулонъ, фарадъ.

Приложенія закона Ома.

Мы видѣли, что, по закону Ома, сила тока J, получаемаго отъ одного элемента, выражается формулою

$$J = \frac{E}{W + w},$$

гдѣ E электровозбудительная сила элемента, W внутреннее сопротивленіе одного элемента и w сумма сопротивленій внѣшнихъ частей цѣпи. Батарея, состоящая изъ n элементовъ, даетъ силу тока

$$J_1 = \frac{nE}{nW + w} = \frac{E}{W + \frac{w}{n}}.$$

и батарея, состоящая изъ n элементовъ, соединенныхъ параллельно, даетъ силу тока

$$J_2 = \frac{E}{\frac{W}{n} + w}.$$

Когда внѣшнее сопротивленіе w ничтожно въ сравненіи съ внутреннимъ W, мы получаемъ формулы

$$J = \frac{E}{W},\ J_1 = \frac{E}{W},\ J_2 = \frac{nE}{W};$$

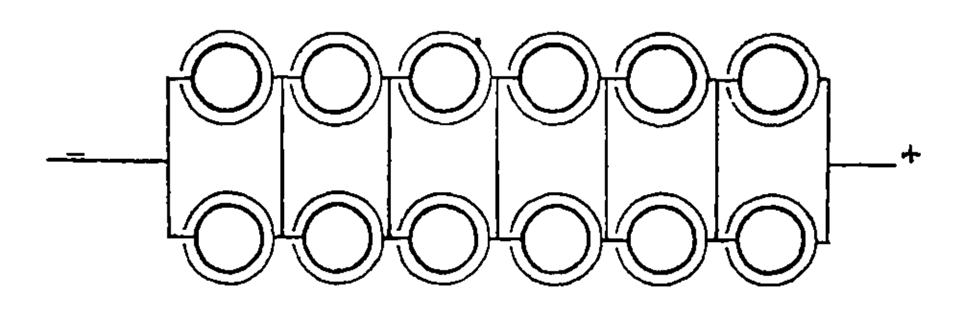
если же внутреннее сопротивленіе W весьма мало въ сравненіи съ внѣшнимъ w, то получатся формулы

$$J = \frac{E}{w},\ J_1 = \frac{nE}{w},\ J_2 = \frac{E}{w}.$$

Кромѣ послѣдовательно и параллельно, можно элементы въ батареяхъ соединять еще иначе. Можно напр. соединять элементы батареи по два параллельно и затѣмъ полученные такимъ образомъ элементы «двойной поверхности» между собою соединить послѣдовательно. Такое соединеніе изображено на фиг. 61. Далѣе можно составить группы по p элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, въ каждой, и затѣмъ q такихъ группъ соединить параллельно, или составить группы изъ q элементовъ, соединенныхъ параллельно, а затѣмъ p такихъ группъ соединить между собою послѣдовательно. Легко доказать, что въ обоихъ случаяхъ сила тока будетъ одна и та же. Въ первомъ случаѣ электро-

возбудительная сила каждой группы будетъ $p\,E$ (ибо соединенiе послѣдовательное) и это же будетъ электровозбудительная сила всей батареи, такъ какъ группы соединены параллельно. Сопротивленiе каждой

Фиг. 61.



группы pW,—слѣдовательно, сопротивленiе всей батареи $\frac{pW}{q}$. Сила тока выражается, поэтому, формулою

$$J = \frac{pE}{\frac{pW}{q} + w}.$$

Во второмъ случаѣ электровозбудительная сила каждой группы есть E (ибо соединенiе параллельное), а такъ какъ группъ будетъ p, то электровозбудительная сила всей батареи будетъ pE; сопротивленiе каждой группы будетъ $\frac{W}{q}$, — слѣдовательно, сопротивленiе всѣхъ p группъ будетъ $\frac{pW}{q}$, а поэтому сила тока выразится формулою

$$J = \frac{p\,E}{\frac{p\,W}{q} + w}.$$

Обѣ полученныя формулы для силы тока тожественны.

Если батарея состоитъ напр. изъ 12 элементовъ, то ихъ можно группировать по 4 послѣдовательно въ одну группу и затѣмъ 3 группы между собою параллельно, или по 3 элемента параллельно и 4 такихъ группъ послѣдовательно. Въ обоихъ случаяхъ сила тока выражается формулою

$$J = \frac{4\,E}{\frac{4\,W}{3} + w}.$$

Приступимъ къ рѣшенiю слѣдующей задачи: дана батарея, состоящая изъ n элементовъ; даны далѣе электровозбудительная сила E и внутреннее сопротивленiе W каждаго элемента и внѣшнее сопротивленiе w цѣпи. Спрашивается, *какъ группировать эти элементы, чтобы получающаяся сила тока была наибольшая?* Положимъ, что въ каждой группѣ будетъ k элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, такъ что число группъ будетъ $\frac{n}{k}$. Тогда электровозбудительная сила батареи будетъ kE; сопротивленiе будетъ kW, дѣленное на $\frac{n}{k}$, т. е.

$$\frac{k^2\,W}{n}.$$

Отсюда слѣдуетъ, что сила тока выражается формулою

$$J = \frac{k\,E}{\frac{k^2\,W}{n} + w}$$

Освободивъ правую часть уравненія отъ знаменателя, получимъ.

$$k^2 \frac{W}{n} J + w\,J = k\,E$$

или $$k^2 - \frac{E\,n}{W\,J}\,k = -\,\frac{w\,n}{W}.$$

Рѣшая это уравненіе относительно k, получимъ

$$k = \frac{E\,n \pm \sqrt{E^2\,n^2 - 4\,w\,n\,W\,J^2}}{2\,W\,J}.$$

Здѣсь n, E, W и w суть величины данныя. Каждой силѣ тока J будетъ соотвѣтствовать, опредѣляемое этою формулою, число k элементовъ, которые должны войдти въ каждую изъ группъ.

Наибольшее возможное значеніе силы тока J получается, если подкоренную величину приравнять нулю, т. е. опредѣляется уравненіемъ

$$E^2\,n^2 - 4\ w\ n\ W\,J^2 = 0.$$

Еще далѣе увеличить силу тока невозможно, потому что для силъ тока еще бо̀льшихъ подъ корнемъ получается отрицательная величина, т. е. k будетъ мнимое, а это означаетъ, что требованіе невыполнимо.

Послѣдняя формула даетъ

$$J^2 = \frac{n\,E^2}{4\,w\,W},$$

чѣмъ и опредѣляется наибольшая возможная сила тока.

Въ этомъ случаѣ послѣднее выраженіе для k даетъ, такъ какъ подкоренная величина приравнена нулю,

$$k = \frac{E\,n}{2\,W\,J}$$

или

$$k^2 = \frac{E^2\,n^2}{4\,W^2\,J^2}.$$

Подставляя сюда только-что полученное выраженіе для J^2, имѣемъ

$$k^2 = \frac{E^2\,n^2}{4\,W^2} \cdot \frac{4\,w\,W}{n\,E^2} = \frac{n\,w}{W},$$

или окончательно

$$k = \sqrt{\frac{n\,w}{W}}.$$

Это и будетъ искомое число элементовъ, которые должны войдти въ каждую группу, если всѣхъ элементовъ n, внутреннее сопротивленіе каждаго элемента W и наружное сопротивленіе цѣпи w.

Положимъ, напр., что батарея состоитъ изъ 24 элементовъ, внутреннее сопротивленіе каждаго $W=8$, наружное сопротивленіе цѣпи $w=3$. Въ этомъ случаѣ

$$k = \sqrt{\frac{24.\,3}{8}} = 3$$

т. е. чтобы получить въ разсматриваемомъ случаѣ наибольшую силу тока, слѣдуетъ 24 элемента распредѣлить на 8 группъ, соединенныхъ между собою параллельно и состоящихъ каждая изъ 3 элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно.

Интересно опредѣлить внутреннее сопротивленіе батареи въ томъ случаѣ, если она дастъ наибольшую возможную силу тока. Сопротивленіе батареи равно, какъ мы видѣли, $\frac{k^2 W}{n}$. Подставляя сюда вмѣсто k^2 полученное выраженіе $\frac{n w}{W}$, находимъ, что внутреннее сопротивленіе равняется

$$\frac{nwW}{Wn} = w.$$

Это значитъ, что, при наивыгоднѣйшемъ распредѣленіи элементовъ въ батареи, внутреннее ея сопротивленіе какъ разъ равняется сопротивленію внѣшнихъ частей цѣпи.

Обращаемся къ рѣшенію другой задачи. Дана опредѣленная сила тока J, которая должна быть получена: Спрашивается, сколько для этого нужно взять элементовъ и какъ нужно эти элементы группировать, т. е. по сколько надо взять элементовъ (соединенныхъ послѣдовательно) въ каждой группѣ и сколько такихъ группъ, чтобы съ наименьшимъ возможнымъ числомъ элементовъ получить желаемую силу току. Если E, W, w, p и q будутъ имѣть прежнія значенія (q группъ по p элементовъ), то p и q будутъ искомыя величины. Всего придется взять $n = pq$ элементовъ.

Вы видѣли, что если мы будемъ брать по p элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, и такихъ группъ возьмемъ q, то получится сила тока

$$J = \frac{p\ E}{\frac{p\ W}{q} + w}.$$

Мы знаемъ, что при наилучшей комбинаціи элементовъ, внутреннее сопротивленіе батареи должно равняться наружному сопротивленію цѣпи. Это даетъ уравненіе

$$\frac{pW}{q} = w.$$

Отсюда слѣдуетъ, что сила тока J будетъ равняться

$$J = \frac{pE}{w + w} = \frac{pE}{2w},$$

откуда получится

$$p = \frac{2wJ}{E};$$

кромѣ того имѣемъ

$$q = \frac{pW}{w};$$

подставляя вмѣсто p только что найденное выраженіе и сокращая на w, мы получимъ

$$q = \frac{2\ W\ J}{E}.$$

Помноживъ p на q, мы получимъ n, число элементовъ въ батареѣ:

$$n = \frac{4\ w\ W\ J^2}{E^2}.$$

Для того, чтобы достигнуть силы тока J, мы должны взять по-крайней мѣрѣ $\frac{4\ w\ W\ J^2}{E^2}$ элементовъ и притомъ комбинировать ихъ въ $\frac{2\ W\ J}{E}$ группъ, соединенныхъ параллельно, по $\frac{2\ w\ J}{E}$ послѣдовательно соединенныхъ элементовъ въ каждой.

Можно обобщить эту задачу. Въ полученныхъ выраженіяхъ встрѣчается электровозбудительная сила E. Предположимъ, что она неизвѣстна, но что мы знаемъ, что одинъ элементъ при наружномъ сопротивленіи w_1 даетъ извѣстную намъ силу тока J_1; тогда $J_1 = \frac{E}{W+w_1}$; а мы желаемъ непремѣнно получить силу тока J. Если мы возьмемъ E изъ послѣдняго выраженія, т. е. $E = J_1\ (W + w_1)$, и подставимъ въ выше найденныя формулы для n, p и q, то получимъ, что слѣдуетъ взять по крайней мѣрѣ

$$n = \frac{4\ w\ W\ J^2}{(W+w_1)^2\ J_1^2}$$

элементовъ, раздѣлить ихъ на

$$q = \frac{2\ W\ J}{(W + w_1)\ J_1}.$$

группъ, по

$$p = \frac{2\ W\ J}{(W + w_1)\ J_1}$$

элементовъ въ каждой, чтобъ получить силу тока J.

Въ этихъ 3 формулахъ электровозбудительная сила E не находится, а будетъ встрѣчаться лишь отношеніе между желаемою силою тока J и тою (J_1), которую мы наблюдали при одномъ элементѣ.

Положимъ, мы знаемъ, что одинъ элементъ, внутреннее сопротивленіе котораго равняется $W=3$, при наружномъ $w_1 = 1$, дало нѣкоторую силу тока J_1. Сколько нужно взять элементовъ, чтобы при внѣшнемъ сопротивленіи, равномъ $w = 10$, получить силу тока въ 4 раза бо́льшую? Въ этомъ примѣрѣ $\frac{J}{J_1} = 4$. Выведенныя нами формулы даютъ

$$n = \frac{4.\ 10.\ 3.\ 4^2}{(3+1)^2} = 120,$$

$$q = \frac{2.\ 10.\ 4}{3+1} = 20,$$

$$p = \frac{2.\ 3.\ 4}{3+1} = 6.$$

Итакъ, для того, чтобы достигнуть желаемаго, мы должны взять по крайней мѣрѣ 120 элементовъ и раздѣлить ихъ на 6 группъ, по 20 элементовъ въ каждой.

Разсмотримъ еще задачу, рѣшеніе которой основано на законѣ Ома.

Положимъ, что имѣются 3 элемента; внутреннее сопротивленіе каждаго изъ нихъ равно какимъ нибудь двумъ единицамъ, наружное —

десяти. Соединяя ихъ послѣдовательно, мы получимъ нѣкоторую силу тока. Спрашивается, сколько надо еще прибавить элементовъ, чтобы получить силу тока, какъ разъ въ два раза бо́льшую? Искомое число элементовъ обозначимъ черезъ x.

Когда сначала было 3 элемента, внутреннее сопротивленіе каждаго 2, наружное сопротивленіе цѣпи 10, то сила тока равнялась

$$J = \frac{3\ E}{3.\ 2 + 10} = \frac{3\ E}{16}.$$

Когда же мы прибавимъ еще x элементовъ, то электровозбудительная сила будетъ $(3 + x)\ E$, внутреннее сопротивленіе $2\ (3 + x)$ и, слѣдовательно, сила тока

$$\frac{(3+x)\ E}{2\ (3+x)+10} = \frac{(3+x)\ E}{2x+16}.$$

По условію эта величина должна быть вдвое больше предъидущей, что дастъ уравненіе

$$\frac{(3 + x)\ E}{2\ x + 16} = \frac{6\ E}{16}.$$

Сокративъ на E и рѣшивъ уравненіе, получимъ $x=12$.

Чтобы удвоить силу тока, мы должны къ 3 элементамъ прибавить еще 12, такъ что батарея будетъ всего состоять изъ 15-ти элементовъ.

Законъ Ома вѣренъ не только для всей цѣпи, но и для каждой данной ея части. Если въ двухъ точкахъ цѣпи потенціалъ имѣетъ значеніе V_1 и V_2 и сопротивленіе части цѣпи, находящейся между этими точками, есть R, то сила тока J въ этой части цѣпи, по закону Ома, выражается такъ: электровозбудительная сила, т. е. разность потенціаловъ $V_1 - V_2$, дѣленная на сопротивленіе R, т. е.

$$J = \frac{V_1 - V_2}{R}.$$

Если цѣпь состоитъ изъ нѣсколькихъ разнородныхъ частей, удѣльныя сопротивленія которыхъ различны, то, составляя подобныя уравненія для равныхъ длинъ каждой части, мы будемъ получать выраженія силы тока съ различными знаменателями. Но самая сила тока будетъ одна и та же во всѣхъ частяхъ цѣпи. Поэтому во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ R бо́льшее, должна быть больше и разность потенціаловъ между одинаково отстоящими точками, т. е. въ худыхъ проводникахъ разность потенціаловъ между двумя точками, удаленными хотя бы на одинъ дюймъ другъ отъ друга, будетъ бо́льшая, чѣмъ въ хорошихъ проводникахъ.

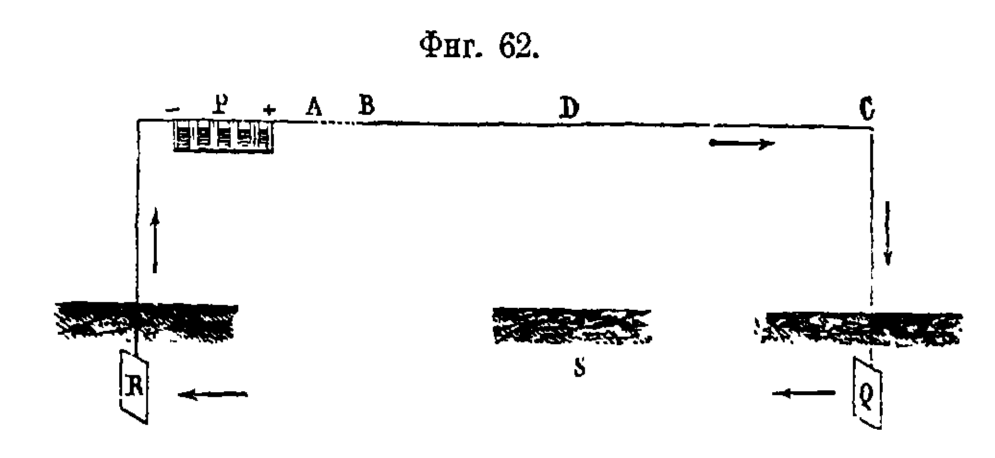
Быстрота, съ которою мѣняется потенціалъ вдоль проводника, называется *паденіемъ потенціала*, и мы получаемъ результатъ, что въ плохихъ проводникахъ паденіе бо́льшее, чѣмъ въ хорошихъ.

Чувствительные электрометры показываютъ, что на всѣхъ частяхъ цѣпи имѣется и свободное статическое электричество. Когда элементъ изолированъ, то на отрицательномъ полюсѣ замѣчается наибольшее отрицательное, на положительномъ — наибольшее положительное напряженіе.

Отъ положительнаго полюса напряженіе положительнаго электричества уменьшается до нѣкоторой точки цѣпи, гдѣ оно будетъ равно нулю. Если одинъ изъ полюсовъ соединить съ землею, то напряженіе на нёмъ сдѣлается равнымъ нулю, а на другомъ полюсѣ оно удвоится. Если какую нибудь точку цѣпи соединить съ землею, то въ этой точкѣ напряженіе дѣлается равнымъ нулю, но разность напряженій на полюсахъ остается прежняя.

Чрезвычайно интересный вопросъ представляетъ соединеніе обоихъ полюсовъ батареи съ землею. Если оба полюса батарей P (фиг. 62) соединить съ пластинками, зарытыми въ землю и находящимися на значительномъ другъ отъ друга разстояніи, то токъ оказывается замкнутымъ. Но не слѣдуетъ думать, что земля играетъ здѣсь роль такого же проводника, какъ проволока, т. е. не слѣдуетъ думать, что токъ будетъ замкнутъ въ обыкновенномъ смыслѣ слова, что черезъ землю токъ проходитъ отъ одной пластинки къ другой. Если бы было такъ, то пришлось бы спросить, какимъ образомъ безчисленная масса телеграфныхъ токовъ, расходящихся въ землѣ, попадаютъ какъ разъ въ соотвѣтствующія пластинки, куда слѣдуетъ? Дѣло въ томъ, что электровозбудительная сила, дѣйствующая внутри элемента, поддерживаетъ, какъ мы видѣли, на положительномъ полюсѣ цѣпи постоянно нѣкоторый положительный потенціалъ $+V$, на отрицательномъ же отрицательный потенціалъ $-V$. Такъ какъ потенціалъ земли, какъ огромнаго тѣла, не наэлектризованнаго, равенъ нулю, то получается: въ соединительной проволокѣ ACQ непрерывное теченіе положительнаго электричества отъ электрода въ землю къ пластинкѣ Q и отрицательнаго электричества изъ земли черезъ пластинку Q къ положительному полюсу; съ другой стороны, гдѣ находится отрицательный полюсъ, т. е. въ проволокѣ PR, такимъ же образомъ будетъ уходить въ землю отрицательное, изъ земли къ элементу будетъ течь положительное электричество.

Фиг. 62.



Очевидно, что эти два тока сливаются въ одинъ общій токъ: положительное электричество течетъ черезъ батарею по направленію $RPCQ$; отрицательное — обратно, по направленію $QCPR$, т. е. во всѣхъ частяхъ цѣпи будетъ происходить непрерывный токъ. Но токи эти совершенно самостоятельные; электричество, попадающее изъ одной пластинки въ землю, исчезаетъ, распространяется въ безпредѣльной массѣ земли, а не попадаетъ, непремѣнно, въ другую пластинку.

Это будетъ еще яснѣе, если вспомнить аналогію между элементомъ и машиною, которая непрерывно качаетъ воду изъ низко стоящаго сосуда въ высоко стоящій. Положимъ, что машина стоитъ на берегу моря и качаетъ воду въ стоящій выше сосудъ, а изъ этого сосуда вода, посредствомъ трубки, опять вытекаетъ въ море. Понятно, что при этомъ получается непрерывный токъ, но никто, конечно, не скажетъ, что тѣ же самыя частицы воды, которыя только-что вытекли изъ верхняго сосуда, возвращаются къ нему дѣйствіемъ машины и что мы имѣемъ дѣло съ замкнутымъ круговымъ теченіемъ. Теченіе будетъ хотя непрерывное, но самостоятельное двухъ струй, независимыхъ другъ отъ друга.

Сказанное еще болѣе можетъ быть уяснено слѣдующимъ примѣромъ: если бы можно было землю непроводящею электричество перегородкою, проходящею между пластинками R и Q, раздѣлить на двѣ части, то токъ всетаки былъ бы замкнутъ; аналогично: если паровая машина будетъ выкачивать воду изъ одного озера и перекачивать ее въ другое, то теченіе воды также будетъ непрерывное. Если бы можно было одинъ полюсъ элемента соединить съ землею, а другой — съ луною, то цѣпь все-таки была бы замкнута.

Мы называли силою тока то количество электричества, которое въ единицу времени протекаетъ черезъ любое поперечное сѣченіе проводника. Болѣе точное изслѣдованіе показало, что это количество электричества, даже при слабыхъ токахъ, чрезвычайно громадно. Оно почти неизмѣримо громадно въ сравненіи даже съ наибольшимъ количествомъ электричества, которое можетъ дать наилучшая электрическая машина. Такъ, при токѣ отъ одного элемента Даніеля, когда сопротивленіе цѣпи равно двумъ единицамъ Сименса, черезъ любое сѣченіе проводника въ одну секунду протекаетъ такое количество электричества, что если бы мы могли помѣстить его въ какое нибудь мѣсто, и на разстояніи одного метра отъ него помѣстить еще такое количество, то эти два количества взаимно отталкивались бы съ силою, равною 300 милліонамъ пудамъ. Если бы эти два количества электричества помѣстить въ двухъ мѣстахъ, отдаленныхъ другъ отъ друга на километръ (почти верста), то и тогда сила ихъ взаимнаго отталкиванія равнялась бы 300 пудамъ. Между тѣмъ, при разомкнутой цѣпи на электродахъ одного элемента Даніеля хотя и находится свободное электричество, но въ столь ничтожномъ количествѣ, что даже на карандашѣ, потертомъ пальцемъ, появится въ много тысячъ большее количество электричества. При разомкнутой цѣпи требуется нѣсколько десятковъ тысячъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, чтобы напряженіе на электродахъ было столь большое, чтобы между ними можно было получить сколько нибудь замѣтную искру въ нѣсколько миллиметровъ длины. Итакъ, *при замкнутой цѣпи и даже сравнительно слабомъ токѣ черезъ цѣпь протекаетъ въ секунду количество электричества, огромное въ сравненіи съ тѣмъ, которое*

дають наилучшія машины Гольца; при разомкнутой цѣпи десятки тысячъ элементовъ даютъ на электродахъ количество электричества, ничтожное въ сравненіи съ тѣмъ, которое получается отъ любой электрической машины.

Кажущееся въ этомъ явленіи противорѣчіе исчезаетъ, если принять во вниманіе чрезмѣрную скорость теченія электричества—вѣроятно, сотни тысячъ верстъ въ одну секунду. Понятно, слѣдовательно, что если въ секунду черезъ поперечное сѣченіе проводника протекаетъ столбъ электричества длиною хотя бы въ сто тысячъ верстъ, то, не смотря на ничтожное напряженіе электричества, количество этого, протекающаго въ одну секунду, электричества должно быть громадное.

Итакъ, величина силы тока, а слѣдовательно и дѣйствій тока, объясняется тѣмъ, что электричество протекаетъ чрезъ проводники съ неимовѣрнѣйшею быстротою.

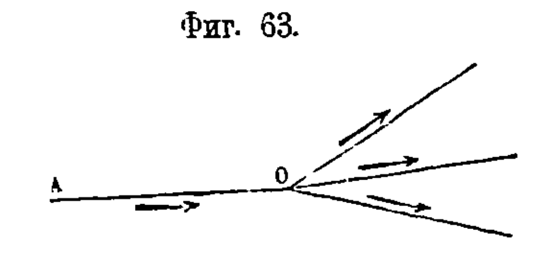
О развѣтвленіяхъ тока.

Переходимъ къ чрезвычайно важному вопросу о развѣтвленіи тока. Если проводникъ, чрезъ который проходитъ токъ, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ развѣтвляется и вѣтви будутъ соединены между собою разными поперечными вѣтвями, то, вообще говоря, по всѣмъ частямъ сѣти вѣтвей будетъ проходить токъ, но въ разныхъ мѣстахъ сила тока будетъ различная. Вопросъ о развѣтвленіи тока, въ сущности, сводится къ опредѣленію силы тока въ каждой вѣтви имѣющейся сѣти проводниковъ.

Вопросъ о развѣтвленіи тока вполнѣ и всесторонне разрѣшается знаменитыми двумя *законами Кирхгофа*, изъ которыхъ первый относится къ произвольной точкѣ развѣтвленія, второй къ произвольному замкнутому контуру.

Положимъ, что въ сѣти проводниковъ имѣются такія точки, въ которыхъ нѣсколько проволокъ сходятся вмѣстѣ (фиг. 63). Въ нѣкоторыхъ изъ этихъ проводниковъ токъ будетъ имѣть направленіе къ точкѣ (на чертежѣ только одинъ такой токъ), въ другихъ токъ будетъ направляться отъ этой точки прочь. Такъ какъ сила тока опредѣляется количествомъ электричества, протекающаго въ единицу времени черезъ проводникъ, то ясно, что чрезъ первую группу проволокъ, въ которыхъ силы токовъ пусть J_1, J_2, J_3, и т. д. количество электричества, притекающаго къ точкѣ развѣтвленія, должно быть вообще

Фиг. 63.



$$J_1+J_2+J_3+\ldots.$$

и точно также

$$i_1+i_2+i_3+\ldots.$$

будетъ количество электричества, которое въ единицу времени отъ точки развѣтвленія уходитъ прочь. Но такъ какъ въ этой точкѣ, конечно, не происходитъ непрерывнаго скопленія электричества, то мы должны заключить, что сколько его притекаетъ, столько и утекаетъ, такъ что получится формула

$$J_1+J_2+J_3+\ldots.=i_1+i_2+i_3+\ldots.$$

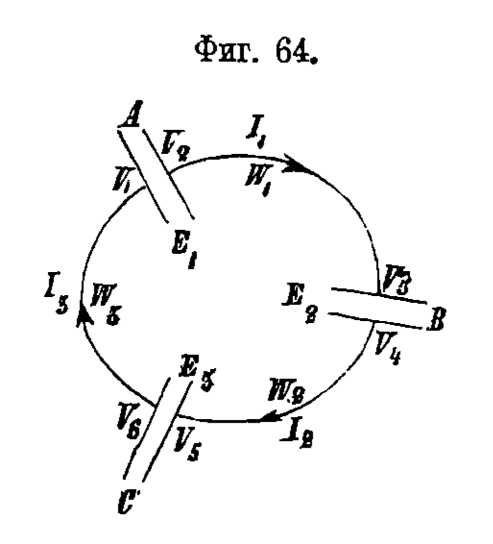
Если мы будемъ *считать токи, приходящіе къ точкѣ развѣтвленія, за положительные, а уходящіе—за отрицательные*, то, перенеся всѣ члены равенства въ лѣвую сторону, мы *получимъ*, что *въ точкѣ развѣтвленія сумма силъ токовъ должна быть равна нулю*, что̀ символически выражается формулою

$$\Sigma J=0,$$

гдѣ Σ знакъ суммы.

Вторая теорема Кирхгофа относится къ замкнутой части разсматриваемой сѣти проводниковъ. Положимъ, что въ разсматриваемой замкнутой части сѣти (фиг. 64), хотя бы въ 3 мѣстахъ A, B и C, дѣйствуютъ электровозбудительныя силы E_1, E_2 и E_3; соединительныя проволоки пусть имѣютъ сопротивленія w_1, w_2 и w_3, пусть въ нихъ имѣются токи, сила которыхъ J_1, J_2 и J_3; причемъ всѣ эти токи будемъ считать идущими послѣдовательно въ одномъ и томъ же опредѣленномъ направленіи. Встрѣчающіеся въ разсматриваемомъ замкнутомъ контурѣ токи, имѣющіе противоположное направленіе, будемъ считать отрицательными. Положимъ, что въ точкахъ, смежныхъ съ A, B и C, потенціалъ имѣетъ значенія V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 и V_6 (см. фиг. 64). По закону Ома, въ вѣтви AB сила тока равна разности потенціаловъ, дѣленной на сопротивленіе вѣтви, т. е.

Фиг. 64.



$$J_1=\frac{V_3-V_2}{w_1};$$

въ части BC контура сила тока равна

$$J_2=\frac{V_5-V_4}{w_2},$$

и, наконецъ, въ третьей части, CA, сила тока равна

$$J_3=\frac{V_1-V_6}{w_3}.$$

Если освободить эти 3 выраженія отъ знаменателей, то получится

$$w_1J_1=V_3-V_2$$
$$w_2J_2=V_5-V_4$$
$$w_3J_3=V_1-V_6.$$

Складывая эти три формулы, получаемъ, измѣнивъ только порядокъ членовъ,

$$w_1J_1+w_2J_2+w_3J_3=V_1-V_2+V_3-V_4+V_5-V_6.$$

Разности потенціаловъ $V_1 - V_2$, $V_3 - V_4$ и $V_5 - V_6$ суть ничто иное, какъ электровозбудительныя силы, дѣйствующія въ точкахъ A, B и C; слѣдовательно, можно написать

$$w_1J_1 + w_2J_2 + w_3J_3 = E_1 + E_2 + E_3.$$

Очевидно, что подобная формула получается и въ случаѣ, если въ замкнутой части цѣпи дѣйствуетъ бо́льшее число электровозбудительныхъ силъ, и что можно сказать, что *во всякомъ замкнутомъ контурѣ сумма всѣхъ произведеній силъ токовъ на соотвѣтствующія сопротивленія равна суммѣ всѣхъ электровозбудительныхъ силъ*, что̀ символически можно написать

$$\Sigma wJ = \Sigma E.$$

Если въ какомъ нибудь замкнутомъ контурѣ проводниковъ нѣтъ вовсе электровозбудительныхъ силъ, то второй законъ Кирхгофа выражается болѣе простою формулою:

$$\Sigma wJ = 0.$$

Полученныя нами двѣ формулы: $\Sigma J = 0$ для всякой точки развѣтвленія и $\Sigma wJ = \Sigma E$ (или въ частномъ случаѣ $\Sigma wJ = 0$) для всякаго замкнутаго контура, выражающія два закона Кирхгофа, даютъ возможность изслѣдовать развѣтвленіе тока во всякой сѣти прово́дниковъ, т. е. опредѣлить силу тока въ каждомъ изъ проводниковъ, входящихъ въ его составъ.

Фиг. 65.

Разсмотримъ теперь нѣкоторые частные случаи развѣтвленія тока; начинаемъ съ самаго простаго случая.

Въ одномъ мѣстѣ A (фиг. 65) данной цѣпи проволока развѣтвляется на двѣ части, которыя вновь сходятся въ другой точкѣ B. Пусть сопротивленіе одной вѣтви r_1, сопротивленіе другой—r_2. Въ главной цѣпи сила тока J. Спрашивается, какова будетъ она въ двухъ вѣтвяхъ? Прежде всего пользуемся первымъ закономъ Кирхгофа, прилагая его къ точкѣ A. Очевидно, что онъ даетъ

$$J = J_1 + J_2.$$

Затѣмъ прилагаемъ второй законъ къ замкнутому контуру, находящемуся между точками A и B и образованному разсматриваемымъ развѣтвленіемъ. Идя вдоль этого контура, хотя бы отъ точки A по наружной вѣтви, мы сперва пойдемъ по направленію тока J_1, а потомъ противно направленію тока J_2. Отсюда слѣдуетъ, что, прилагая къ разсматриваемому контуру формулу

$$\Sigma wJ = 0$$

(электровозбудительныхъ силъ въ немъ нѣтъ), мы одинъ изъ токовъ, хотя бы J_1, должны считать за положительный, другой за отрицательный. Такимъ образомъ получается вторая формула

$$w_1 \; J_1 - w_2 \; J_2 = 0 \text{ или } w_1 \; J_1 = w_2 \; J_2.$$

Отсюда получается $\frac{J_1}{J_2} = \frac{w_2}{w_1}$, т. е., что силы токовъ въ вѣтвяхъ обратно пропорціональны сопротивленіямъ этихъ вѣтвей: *въ той вѣтви, сопротивленіе которой больше, сила тока будетъ во столько же разъ меньше.* Первая формула $J = J_1 + J_2$, вмѣстѣ съ только-что выведенною, даютъ

$$J_1 = J \frac{w_2}{w_1 + w_2}, \; J_2 = J \frac{w_1}{w_1 + w_2}.$$

Интересный вопросъ, какъ велико будетъ общее сопротивленіе двухъ развѣтвленій, взятыхъ вмѣстѣ? Пусть оно будетъ x. Это значитъ, что если бы мы вмѣсто двухъ проволокъ, соединяющихъ точки A и B, ввели одну проволоку съ сопротивленіемъ x, то сила тока J въ главной цѣпи осталась бы безъ измѣненія. По первому закону Кирхгофа $J = J_1 + J_2$. Но если мы потенціалъ въ точкахъ A и B обозначимъ чрезъ V_1 и V_2, то очевидно, что сила тока, которая образовалась бы между точками A и B, если бы мы ввели между ними сопротивленіе x, будетъ $\frac{V_1 - V_2}{x}$, что̀ и должно равняться J, т. е. неизмѣненной силѣ тока главной цѣпи. Итакъ, $J = \frac{V_1 - V_2}{x}$. Подобнымъ же образомъ имѣемъ для одной изъ двухъ вѣтвей $J_1 = \frac{V_1 - V_2}{w_1}$, для другой $J_2 = \frac{V_1 - V_2}{w_2}$.

Вставляя эти три выраженія въ формулу $J = J_1 + J_2$ и сокращая на $V_1 - V_2$, получаемъ

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}.$$

откуда $x = \frac{w_1 \; w_2}{w_1 + w_2}$, т. е. сопротивленіе совокупности двухъ параллельныхъ вѣтвей равно произведенію сопротивленій отдѣльныхъ вѣтвей, дѣленному на сумму этихъ же двухъ сопротивленій. Пусть напр. сопротивленія вѣтвей $w_1 = 5$ и $w_2 = 10$; тогда общее ихъ сопротивленіе будетъ

$$x = \frac{5.\ 10}{5 + 10} = 3^1/_3.$$

Въ случаѣ, если сопротивленія обѣихъ частей равны между собою, мы, вмѣсто w_1 и w_2, можемъ написать просто w, тогда $x = \frac{w}{2}$, т. е. обѣ проволоки, вмѣстѣ взятыя, имѣютъ лишь половину того сопротивленія, какое имѣетъ каждая отдѣльно. Это понятно, потому что если бы мы двѣ равныя проволоки сложили вмѣстѣ, то получили бы одну проволоку двойнаго поперечнаго сѣченія, т. е. половиннаго сопротивленія. Если между точками A и B находятся три или еще большее число проволокъ, то силы токовъ въ нихъ будутъ обратно пропорціональны сопротивленіямъ, а сопротивленіе ихъ, вмѣстѣ взятыхъ, опредѣлится формулою

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \cdots$$

Для примѣра рѣшимъ слѣдующую задачу:

Имѣются 8 элементовъ; внутреннее сопротивленіе каждаго элемента равно 5; токъ отъ этихъ 8 элементовъ требуется пропустить черезъ два телеграфные аппарата Морзе, поставленные параллельно. Сопротивленіе одного аппарата пусть будетъ 15, сопротивленіе другаго — 30. Какъ комбинировать эти 8 элементовъ, чтобы оба аппарата дѣйствовали по возможности сильнѣе?

Если эти два прибора поставить параллельно, то общее ихъ сопротивленіе получится, если мы 15 помножимъ на 30 и произведеніе, 450, раздѣлимъ на сумму $15 + 30 = 45$; такимъ образомъ получимъ, что общее сопротивленіе будетъ 10.. Это ничто иное, какъ наружное сопротивленіе цѣпи. У насъ была формула (стр. 97), $k = \sqrt{\frac{n w}{W}}$, опредѣляющая, по сколько элементовъ надо брать въ каждой группѣ, чтобы получить наибольшую силу тока. Мы вычислили, что наружное сопротивленіе $w = 10$, внутреннее сопротивленіе каждаго элемента равно $w = 5$; $n = 8$,

$$\text{слѣд. } k = \sqrt{\frac{8.\ 10}{5}} = 4\,,$$

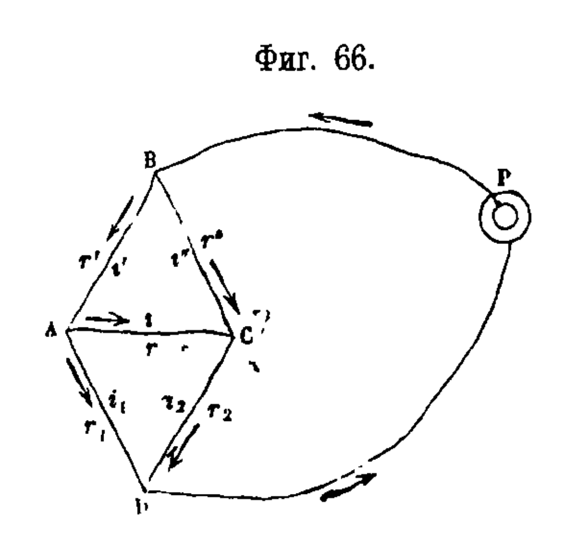
т. е. чтобы данные два прибора дѣйствовали какъ можно лучше, слѣдуетъ элементы комбинировать въ двѣ параллельно соединенныя группы, по 4 элемента, соединенные послѣдовательно, въ каждой группѣ.

Обращаемся къ знаменитому случаю развѣтвленія тока, извѣстному подъ названіемъ *мостика Витстона*. Онъ отличается отъ предъидущаго, главнымъ образомъ, тѣмъ, что какія нибудь двѣ точки вѣтвей AB (фиг. 65) соединены еще, такъ сказать, поперечною проволокою, которая и называется мостикомъ; это развѣтвленіе было впервые изслѣдовано Витстономъ. Оно представлено на фиг. 66.

Токъ, приходя съ одной стороны, сперва будетъ развѣтвляться по двумъ вѣтвямъ, затѣмъ оба тока опять соединятся въ одинъ; кромѣ того, образуется нѣкоторый токъ и въ мостикѣ. При опредѣленіи шести силъ токовъ, которые здѣсь встрѣтятся, получаются чрезвычайно сложныя формулы, которыя мы разсматривать не будемъ. Ограничимся указаніемъ на способъ ихъ вывода. Первая теорема Кирхгофа даетъ для точекъ B и D уравненія $J = i' + i'' = i_1 + i_2$ и для точекъ A и C уравненія $i = i_2 - i'' = i' - i_1$. Вторая теорема даетъ для контуровъ ABC и BDC уравненія $ir = i_1 r_1 - i_2 r_2$ и $ir = i'' r'' - i' r'$. Изъ этихъ уравненій легко вывести силы токовъ i, i_1, i_2, i' и i''.

Вообще говоря, если четыре вѣтви AD, CD, AB и CB (фиг. 66) имѣютъ сопротивленія r_1, r_2, r' и r'', то въ каждой изъ нихъ получаются разныя силы токовъ i_1, i_2, i' и i''. Кромѣ того, въ мостикѣ, сопротивленіе котораго r, получается нѣкоторая сила тока i. Ограничиваемся разсмотрѣніемъ *наиболѣе важнаго на практикѣ и интерес-*

наго случая, когда четыре сопротивленія выбраны такъ, что, независимо отъ величины сопротивленія r, *сила тока i въ мостикѣ равна нулю.*



Фиг. 66.

Спрашивается, возможно ли это и какъ слѣдуетъ выбирать сопротивленія вѣтвей, чтобы въ мостикѣ сила тока была равна нулю?

Когда сила тока въ мостикѣ равна нулю, то $i_1 = i'$ и $i_2 = i''$, что непосредственно вытекаетъ изъ первой теоремы Кирхгофа. Кромѣ того, въ конечныхъ точкахъ мостика A и C потенціалъ долженъ имѣть одно и то же значеніе V, потому что, если бы онъ имѣлъ различныя значенія, то образовался бы въ мостикѣ токъ силы i. Пусть потенціалъ въ D равенъ V_1 и въ B равенъ V_2. Тогда въ вѣтви AD сила тока

$$i_1 = \frac{V - V_1}{r_1},$$

а въ вѣтви AB сила тока

$$i' = \frac{V_2 - V}{r'}.$$

Равенство $i_1 = i'$ даетъ

$$\frac{V - V_1}{r_1} = \frac{V_2 - V}{r'}$$

или

$$\frac{V - V_1}{V_2 - V} = \frac{r_1}{r'}$$

Точно также на другой сторонѣ DCB мы получаемъ въ вѣтви DC

$$i_2 = \frac{V - V_1}{r_2}$$ и, наконецъ, сила тока въ вѣтви CB равна

$$i'' = \frac{V_2 - V}{r''}.$$

Равенство $i_2 = i''$ приводитъ, какъ и прежде, къ формулѣ:

$$\frac{V - V_1}{V_2 - V} = \frac{r_2}{r''}.$$

Сличая это уравненіе съ раньше полученнымъ, мы видимъ, что

$$\frac{r_1}{r'} = \frac{r_2}{r''},$$

т. е. сопротивленія четырехъ вѣтвей должны составлять геометрическую пропорцію, одно сопротивленіе должно относиться ко второму, какъ третье къ четвертому. Въ этомъ заключается сущность теоріи мостика Витстона.

Итакъ: *въ мостикѣ сила тока равна нулю, если сопротивленія четырехъ вѣтвей составляютъ пропорцію.* Отсюда слѣдуетъ, что сила тока въ мостикѣ будетъ равна нулю только при опредѣленномъ выборѣ сопротивленій вѣтвей, но независимо отъ сопротивленія

самаго мостика, и что если токъ въ мостикѣ равенъ нулю и если какое нибудь изъ сопротивленій четырехъ вѣтвей нѣсколько увеличится или уменьшится, то сейчасъ же появится въ мостикѣ токъ.

Объ абсолютныхъ единицахъ: омъ, вольтъ, амперъ, кулонъ и фарадъ.

Измѣрить какую нибудь величину значитъ узнать, сколько разъ въ ней заключается другая величина того же рода, принятая за единицу. Чтобы измѣрить сопротивленіе, электровозбудительную силу и силу тока, мы должны выбрать какія нибудь единицы сопротивленія, электровозбудительной силы и силы тока. На практикѣ, до недавняго времени, за единицу сопротивленія, какъ уже было сказано на стр. 90, употреблялась болѣе всего единица Сименса, т. е. сопротивленіе ртутнаго столба въ одинъ метръ длины и одинъ квадратный миллиметръ поперечнаго сѣченія. За единицу электровозбудительной силы принимается электровозбудительная сила элемента Даніеля, а слѣдовательно за единицу силы тока та сила тока, которую дастъ элементъ Даніеля, если сопротивленіе всей цѣпи будетъ равно единицѣ Сименса.—Въ настоящее время ученые и техники стремятся къ всеобщему введенію другой системы единицъ, извѣстныхъ подъ названіемъ единицъ абсолютныхъ: омъ — единица сопротивленія, вольтъ—единица электровозбудительной силы, амперъ—единица силы тока, кулонъ—единица количества электричества и фарадъ—единица электрической емкости. Постараемся разъяснить, какое значеніе имѣютъ эти единицы.

Существуетъ возможность установить между единицами разныхъ величинъ такую связь, что если выбрать нѣкоторыя единицы произвольно, остальныя уже будутъ болѣе или менѣе непосредственно изъ нихъ вытекать. Такъ напр., за единицу вѣса мы можемъ принять вѣсъ кубическаго сантиметра воды, такъ что единица вѣса будетъ зависѣть отъ единицы длины. За единицу силы тока мы можемъ принять ту силу тока, которая получится при единицѣ электровозбудительной силы, когда цѣпь имѣетъ единицу сопротивленія. Подробное изслѣдованіе показало, что всѣ единицы всевозможныхъ величинъ можно вывести изъ 3-хъ *основныхъ единицъ*, выбранныхъ болѣе или менѣе произвольно. Принято выбирать какъ основныя единицы: единицы *длины*, *времени* и *массы*. Смотря по тому, какъ мы выберемъ эти три единицы, мы получимъ разныя системы остальныхъ, «*производныхъ*» единицъ.

Строго-научная система единицъ основана на слѣдующемъ выборѣ трехъ основныхъ единицъ: за единицу *длины* принятъ *сантиметръ* (C), за единицу *массы—граммъ* (G), т. е. масса кубическаго сантиметра воды, и за единицу *времени—секунда* (S). Замѣтимъ, что въ обык-

новенной французской системѣ единицъ граммъ есть единица вѣса и можетъ служить единицею силы. Всякую производную единицу, вытекающую изъ этихъ трехъ основныхъ единицъ, принято называть *C. G. S.* единицею, и всю систему различныхъ единицъ, такимъ образомъ получающихся, — системою *C. G. S.* единицъ; ихъ принято также называть абсолютными единицами. Покажемъ, какимъ образомъ изъ трехъ основныхъ единицъ, сантиметръ-граммъ-секунда, послѣдовательно выводятся различныя производныя единицы, ограничиваясь тѣми, съ которыми необходимо познакомиться, чтобъ понять электрическія *C. G. S.* единицы.

Единицею силы будетъ та сила, которая въ одну секунду придастъ тѣлу, масса котораго равна одному грамму, ускореніе въ одинъ сантиметръ. Эта *C. G. S.* единица силы (слѣд. и вѣса) называется *динъ*. Замѣтимъ, что динъ равняется приблизительно одному миллиграмму, точнѣе $\frac{1}{980}$ грамма или 1,0204 миллиграмма или 0,02297 русскимъ долямъ.

Единицей *работы* будетъ вообще та работа, которая производится, если грузъ, вѣсъ котораго единица, поднимается на высоту, равную единицѣ длины. *C. G. S.* единица работы называется *эргъ* и это будетъ работа, которая производится, когда тѣло, вѣсъ котораго динъ, поднимается на высоту одного сантиметра. Милліонъ эрговъ называется *мегаэргъ*; одинъ килограммъ-метръ равенъ 98,1 мегаэргамъ, одинъ пудофутъ равенъ 490,4 мегаэргамъ.

Работа эквивалентна *теплотѣ*. На практикѣ за единицу количества теплоты принимается то количество, которое потребно, чтобъ 1 граммъ (вѣсъ) воды нагрѣть на 1° Цельз.; оно называется *малою калоріею*; 1000 малыхъ калорій называются большою или просто калоріею. За *C. G. S.* единицу тепла принимается количество тепла, эквивалентное *C. G. S.* единицѣ работы, т. е. эргу. Оно и называется *эргъ*. Одна большая калорія равна 41615 мегаэргамъ; малая калорія = 41,6 мегаэргамъ. Мегаэргъ равенъ 0,0241 малыхъ калорій и эквивалентенъ 0,0102 килограммъ-метрамъ или, приблизительно, мегаэргъ тепла эквивалентенъ декаграммъ-метру.

За единицу количества *магнитизма* (единица магнитнаго полюса) вообще принимается то количество магнитизма, которое отталкиваетъ равное себѣ количество магнитизма, находящееся на разстояніи, равномъ единицѣ длины, съ силою, равною единицѣ силы. *C. G. S.* единица магнитизма отталкиваетъ равное себѣ количество магнитизма, находящееся на разстояніи, равномъ одному сантиметру, съ силою, равною одному дину. Эта единица и всѣ нижеслѣдующія, для отличія отъ другихъ системъ (электростатической и электродинамической), которыхъ разбирать не будемъ, составляютъ *электромагнитную* (эл.-магн.) *C. G. S. систему единицъ*.

Явленіе, открытое Эрштедтомъ—дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку, напоминающее дѣйствіе магнита на магнитную стрѣлку, служитъ для опредѣленія единицы силы тока. Вообразимъ себѣ токъ, который бы огибалъ какъ разъ окружность круга и положимъ, что въ центрѣ этого круга находится магнитный полюсъ; тогда дѣйствіе каждой части тока на этотъ полюсъ будетъ выражаться силою, перпендикулярною къ плоскости круга, т. е. тока. Пусть радіусъ круга равенъ одному сантиметру и пусть въ его центрѣ находится *C. G. S.* единица магнитизма. Если притомъ часть (дуга) тока, длиною въ одинъ сантиметръ, дѣйствуетъ на единицу количества магнитизма съ силою, равною одному дину, то сила тока будетъ какъ разъ *эл.-магн. C. G. S. единица силы тока.*

За единицу электричества можно вообще принять то, которое черезъ любое сѣченіе проводника протекаетъ въ единицу времени при единицѣ силы тока. *C. G. S. эл.-магн. единица количества электричества* есть то, которое протекаетъ въ одну секунду при *C. G. S.* эл.-магн. единицѣ силы тока. Опредѣленная такимъ образомъ единица количества электричества отталкиваетъ другое, равное ему, на разстояніи одного метра съ силою, равною 6200 милліоновъ пудовъ, на разстояніи одного километра еще съ силою, равною 6200 пудовъ. Электровозбудительная сила, дѣйствующая между двумя точками, тождественна съ разностью потенціаловъ въ этихъ же точкахъ и пропорціональна той работѣ, которую можетъ произвести единица количества электричества, переходя отъ одной точки къ другой (см. стр. 67). *C. G. S. эл.-магн. единица электровозбудительной силы или разности потенціаловъ* имѣетъ мѣсто между двумя точками, если при переходѣ *C. G. S.* эл.-магн. единицы количества электричества отъ одной къ другой производится *C. G. S.* единица работы, т. е. эргъ, или выдѣляется въ проводникѣ эргъ тепла. Электровозбудительная сила элемента Даніеля около ста десяти милліоновъ *C. G. S.* эл.-магн. единицъ.

За единицу *сопротивленія* вообще принимается сопротивленіе такого проводника, въ которомъ единица электровозбудительной силы (или разности потенціаловъ на концахъ проводника) даетъ единицу силы тока. *C. G. S. единица сопротивленія* есть сопротивленіе проводника, въ которомъ *C. G. S.* эл.-магн. единица электровозбудительной силы даетъ *C. G. S.* эл.-магн. единицу силы тока, такъ что въ секунду протекаетъ *C. G. S.* эл.-магн. единица количества электричества и выдѣляется въ секунду одинъ эргъ тепла. Единица сопротивленія Сименса равна почти тысячѣ милліоновъ *C. G. S.* эл.-магн. единицамъ сопротивленія.

Емкостію нѣкотораго проводника называется, какъ мы видѣли на стр. 65, то количество электричества, которое должно распространиться по его поверхности, чтобы во всѣхъ точкахъ внутри его образовалась единица потенціала. Понятно, что единицей емкости будетъ емкость такого тѣла, въ которомъ единица количества электричества даетъ еди-

ницу потенціала. *C. G. S. эл.-магнитная единица емкости* есть емкость шара, радіусъ котораго равенъ 130-ти билліонамъ миль.

Изъ предъидущаго ясно, что абсолютныя *C. G. S.* электромагнитныя единицы для практики не годятся, такъ какъ нѣкоторыя изъ нихъ (единицы электровозбудительной силы и сопротивленія) слишкомъ малы, другія же (напр. единица емкости) слишкомъ громадны и, пользуясь ими, мы бы непрерывно имѣли дѣло съ слишкомъ большими или слишкомъ малыми числами. Для устраненія этого неудобства *Англійскою Ассоціаціею* была введена система абсолютныхъ электрическихъ единицъ, которыя отличаются отъ *C. G. S.* электромагнитныхъ единицъ только множителями, равными 10 въ нѣкоторой степени. Рѣшеніемъ *конгресса электриковъ* 7 (19) Сентября 1881 г. въ Парижѣ измѣнены нѣкоторыя изъ первоначально употреблявшихся названій и введены эти единицы во всеобщее употребленіе.

Единица сопротивленія, **омъ** (*или омада*), *равна 1.000 милліонамъ C. G. S. элетромагнитнымъ единицамъ сопротивленія.* Омъ приблизительно на 5% больше единицы Сименса. Вполнѣ точнаго опредѣленія еще не существуетъ. Разныя опредѣленія, произведенныя гг. Веберомъ, Лоренцомъ, Кольраушемъ, Роулэндомъ, Вильдомъ, Дорномъ и многими другими привели къ результатамъ, отличающимся другъ отъ друга на 2—3%. *На Парижской конференціи* 1882 г. были выяснены тѣ способы, которые могутъ привести къ опредѣленію ома и было рѣшено считать за омъ то его значеніе, которое будетъ найдено съ точностію до $^1/_{1000}$, т. е. до 0,1%.

На парижской конференціи 1884 года рѣшено (3 мая) за легальный омъ считать сопротивленіе ртутнаго столба въ одинъ квадр. миллиметръ поперечнаго сѣченія и въ 106 сантиметровъ длины. Съ этимъ числомъ почти вполнѣ согласны результаты измѣреній лорда Ралея въ Англіи и, въ особенности, г. Вильда въ Петербургѣ.

Единица электровозбудительной силы или разности потенціаловъ, **вольтъ,** *равна 100 милліонамъ C. G. S. эл. магн. единицамъ электровозбудительной силы.* Электровозбудительная сила элемента Даніеля равна приблизительно 1,12 вольтамъ. Чтобы между двумя проводниками могъ получиться на воздухѣ разрядъ въ видѣ искры длиною въ 3 миллиметра, разность потенціаловъ должна равняться приблизительно 11.000 вольтамъ.

Единица силы тока **амперъ,** *равна* 0,1 *C. G. S. электромагнитной единицы силы тока*; она получается, когда разность потенціаловъ на двухъ концахъ проводника, сопротивленіе котораго омъ, равна вольту,—короче: «вольтъ даетъ амперъ въ одномъ омѣ».

Единица количества электричества, **кулонъ**, протекаетъ въ секунду черезъ поперечное сѣченіе проводника, когда сила тока равна

амперу («амперъ даетъ кулонъ въ секунду»); онъ равенъ 0,1 *C. G. S.* электромагнитной единицы количества электричества.

Когда сила тока равна одному амперу, то через омъ въ одну секунду протекаетъ кулонъ и при этомъ производятся 10 мегаэрговъ работы или 0,102 килограмметровъ или выдѣляется 0,2381 малой калоріи, изъ которыхъ каждая нагрѣваетъ 1 граммъ воды на 1° Ц.

Одинъ амперъ разлагаетъ въ секунду 0,000092 грамма воды, т. е. граммъ воды въ 3 часа и 3 минуты.

Единица емкости, **фарадъ,** *равна одной тысячи милліонной доли C. G. S. электромагнитной единицы емкости.* Электровозбудительная сила, равная 1 вольту, возбуждаетъ въ конденсаторѣ, емкость котораго фарадъ, какъ разъ одинъ кулонъ количества электричества.

Милліонная доля фарада называется *микрофарадомъ.* Шаръ, радіусъ котораго равенъ 9.000 метрамъ, имѣетъ емкость, равную микрофараду. Емкость земнаго шара равна 708 микрофарадамъ; емкость круглаго воздушнаго конденсатора равна микрофараду, когда разстояніе пластинокъ равно 1 миллиметру и радіусъ пластинокъ равенъ 9 метрамъ.

ЛЕКЦІЯ VII.

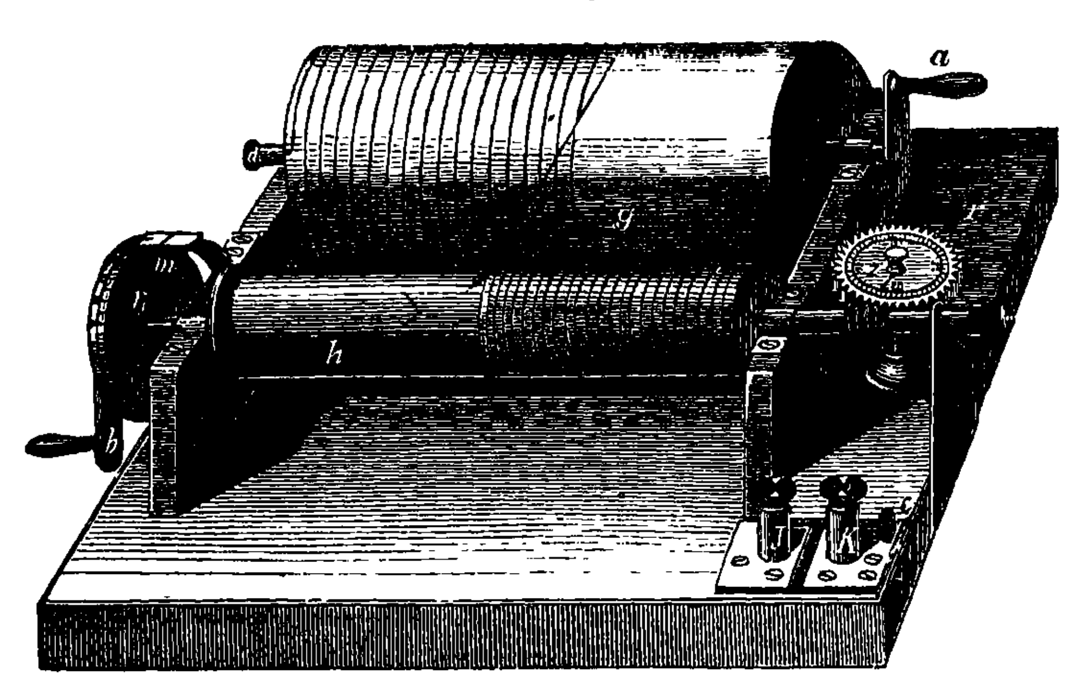
Объ измѣреніи сопротивленія, электровозбудительной силы и силы тока. Измѣреніе сопротивленія; реостаты Витстона и Якоби, реохордъ Поггендорфа; магазины сопротивленій, единица Сименса. Способъ подстановленія; способъ мостика Витстона; измѣреніе внутренняго сопротивленія элемента. Измѣреніе электровозбудительной силы. Измѣреніе силы тока. Тангенсъ и синусъ гальванометры. Измѣреніе силы мгновеннаго тока. Вольтаметръ. *Физіологическія дѣйствія тока.* Открытіе Гальвани, объясненіе Вольта, раздраженіе мышцы, скрытое возбужденіе; раздраженіе нерва; электротонъ; законъ раздраженія отъ восходящихъ и нисходящихъ токовъ, гипотеза Пфлюгера. Токи отъ мышцъ, железъ и нервовъ; отрицательное колебаніе тока. Электротерапія. *Электромагнитизмъ.* Законъ Ленца и Якоби *Тепловыя дѣйствія тока.* Законъ Ленца и Джуля Вычисленіе количества выдѣляющагося тепла и повышенія температуры. Полное количество тепла, выдѣляющагося во всей цѣпи. Объясненіе появленія искры при размыканіи тока.

Объ измѣреніи сопротивленія, электровозбудительной силы и силы тока.

Опредѣлить электрическое *сопротивленіе* проводника значитъ узнать, во сколько разъ это сопротивленіе больше, чѣмъ сопротивленіе, принятое за единицу. Для практическаго исполненія такого опредѣленія имѣется готовая проволока и опредѣляется, какая длина этой проволоки, введенной въ цѣпь, вмѣсто изслѣдуемаго проводника, замѣнитъ его во всѣхъ отношеніяхъ, т. е. дастъ во всѣхъ частяхъ цѣпи и ея развѣт-

вленій ту-же силу тока, какая замѣчалась, когда было введено въ цѣпь измѣряемое сопротивленіе. Сопротивленіе единицы длины этой проволоки должно быть извѣстно. Для удобнаго введенія ея въ цѣпь и для измѣренія длины введенной части служатъ особые приборы, къ которымъ принадлежатъ *реостаты*, *реохорды*, *магазины сопротивленій* и т. д. На фиг. 67 изображенъ реостатъ *Витстона*, состоящій изъ двухъ цилиндровъ: *h*, металлическаго и *g*, состоящаго изъ вещества, непроводящаго электричество. Проволока намотана, какъ показано на чертежѣ; при вращеніи цилиндровъ она перематывается отъ одного къ другому. Въ цѣпь вводится проволока такимъ образомъ, что электроды соединя-

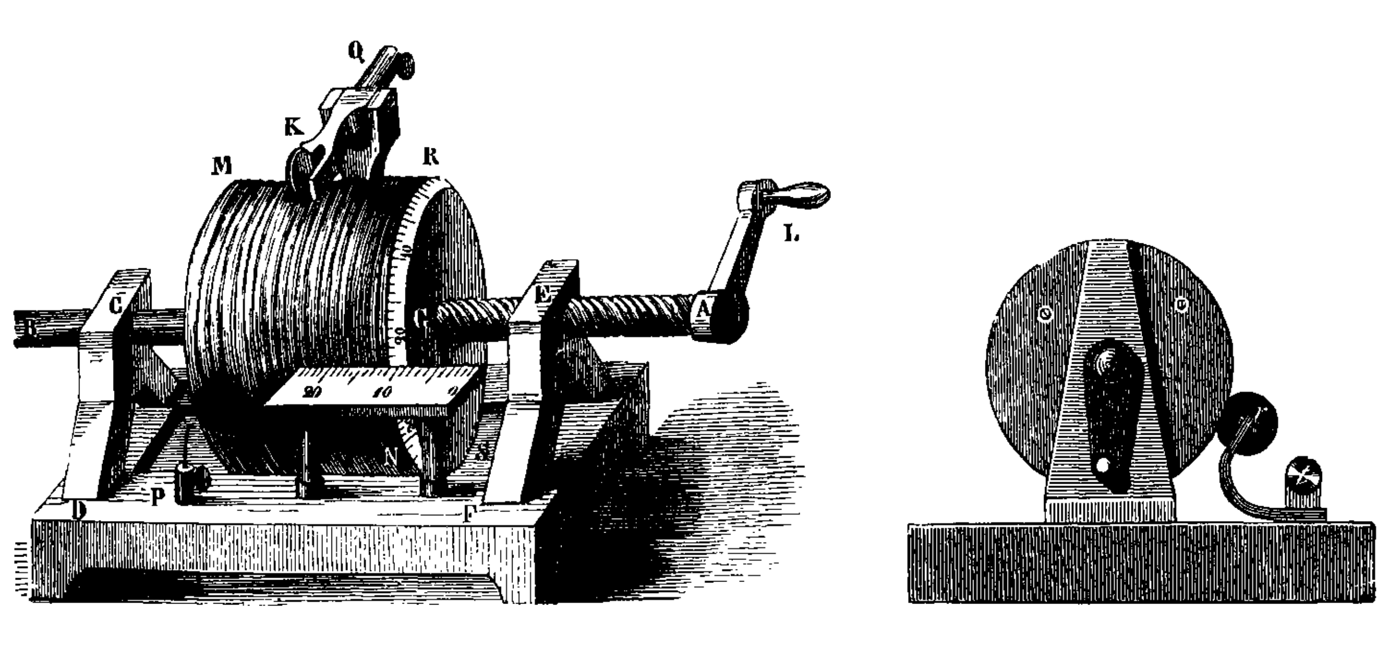
Фиг. 67.



ются съ зажимнымъ винтомъ *d* и съ осью цилиндра *h*. Тогда токъ проходитъ вдоль цилиндра *h* и затѣмъ по проволокѣ, намотанной на *g*; только этотъ кусокъ проволоки введенъ, слѣд., въ цѣпь. Длина его можетъ быть произвольно измѣнена и притомъ съ точностью измѣрена по числу оборотовъ цилиндра *h*. Другой реостатъ изобрѣтенъ академикомъ *Якоби*. Онъ состоитъ (фиг. 68) изъ мраморнаго цилиндра, вращающагося на горизонтальной оси (рукояткою *L*), на которомъ спирально намотана нейзильберовая проволока. Одинъ конецъ этой проволоки (лѣвый на чертежѣ) соединенъ съ металлическою осью цилиндра, которая, съ своей стороны, находится въ соединеніи съ зажимомъ *P*. На проволоку надавливаетъ колесо *K*, снабженное жолобомъ, соотвѣтствующимъ проволокѣ. Ось цилиндра имѣетъ винтовую нарѣзку. Если вращать цилиндръ, то колесо *K* свободно будетъ катиться по проволокѣ и въ то же время самый цилиндръ будетъ соотвѣтственно перемѣщаться въ сторону. Соединяя проволоки съ двумя зажимными винтами *P* и *Q*, мы вводимъ въ цѣпь ту часть проволоки реостата, которая находится между лѣвымъ концомъ цилиндра и колесомъ *K*; токъ идетъ отъ *P* къ про-

волокѣ, затѣмъ къ колесу *K* и къ зажиму *Q*. Если вращать рукоятку, то цилиндръ передвигается, вслѣдствіе чего увеличивается или уменьшается длина проволоки, содержащейся между колесомъ *K* и зажимомъ *P*. Длина введенной проволоки измѣряется очень просто: полные обороты опредѣляются дѣленіями, сдѣланными на горизонтальной пластинкѣ, такъ какъ, при каждомъ оборотѣ цилиндра, онъ перемѣщается на одно

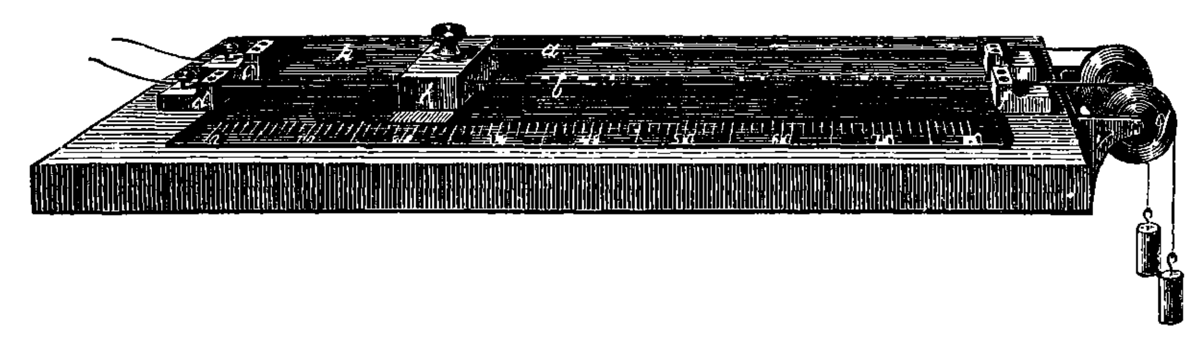
Фиг. 68. Фиг. 69.



дѣленіе. Дробныя же части оборота опредѣляются дѣленіями на кругѣ *R*, прикрѣпленномъ на концѣ (правомъ) цилиндра. Такимъ образомъ, можно удобно вводить нѣкоторую длину проволоки въ цѣпь, или выводить ее изъ цѣпи, причемъ эта длина опредѣляется довольно точно.

Иногда цилиндръ устраивается неперемѣщающимся въ сторону, а колесо *r* (фиг. 69) сбоку придавливается къ проволокѣ, передвигаясь,

Фиг. 70.

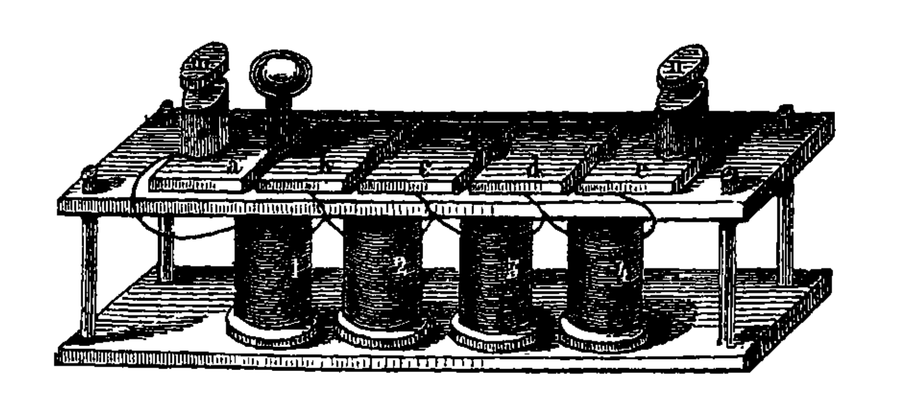


при вращеніи цилиндра, вдоль горизонтальнаго стержня (оси колеса), снабженнаго дѣленіями.

Реохордъ *Поггендорфа* (фиг. 70) состоитъ изъ двухъ горизонтально натянутыхъ параллельныхъ проволокъ, *a* и *b*, проходящихъ черезъ стѣнки маленькой подвижной коробочки *k*, наполненной ртутью. Соединяя концы цѣпи съ двумя зажимными винтами, находящимися на концахъ *d* и *c* проволокъ, мы можемъ замкнуть токъ, который черезъ

первую проволоку дойдетъ до ртути въ *k* и по второй возвратится назадъ. Передвигая ящичекъ со ртутью, мы измѣняемъ длину введенныхъ въ цѣпь проволокъ, которая опредѣляется рядомъ лежащею шкалою. Въ началѣ 70-хъ годовъ академикъ *Якоби* устроилъ новый *ртутный реостатъ*, который даетъ возможность вводить или выводить весьма малое сопротивленіе и съ точностію опредѣлять его величину. Для удобнаго введенія большихъ количествъ проволоки употребляются такъ наз. *магазины сопротивленій*, которые состоятъ изъ ящиковъ, на верхней крышкѣ которыхъ имѣется рядъ металлическихъ пластинокъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга промежутками. На черт. 71 изображенъ такой ящикъ открытый; *a*, *b*, *c*, *d*, *e* металлическія пластинки. Въ промежутки

Фиг. 71.

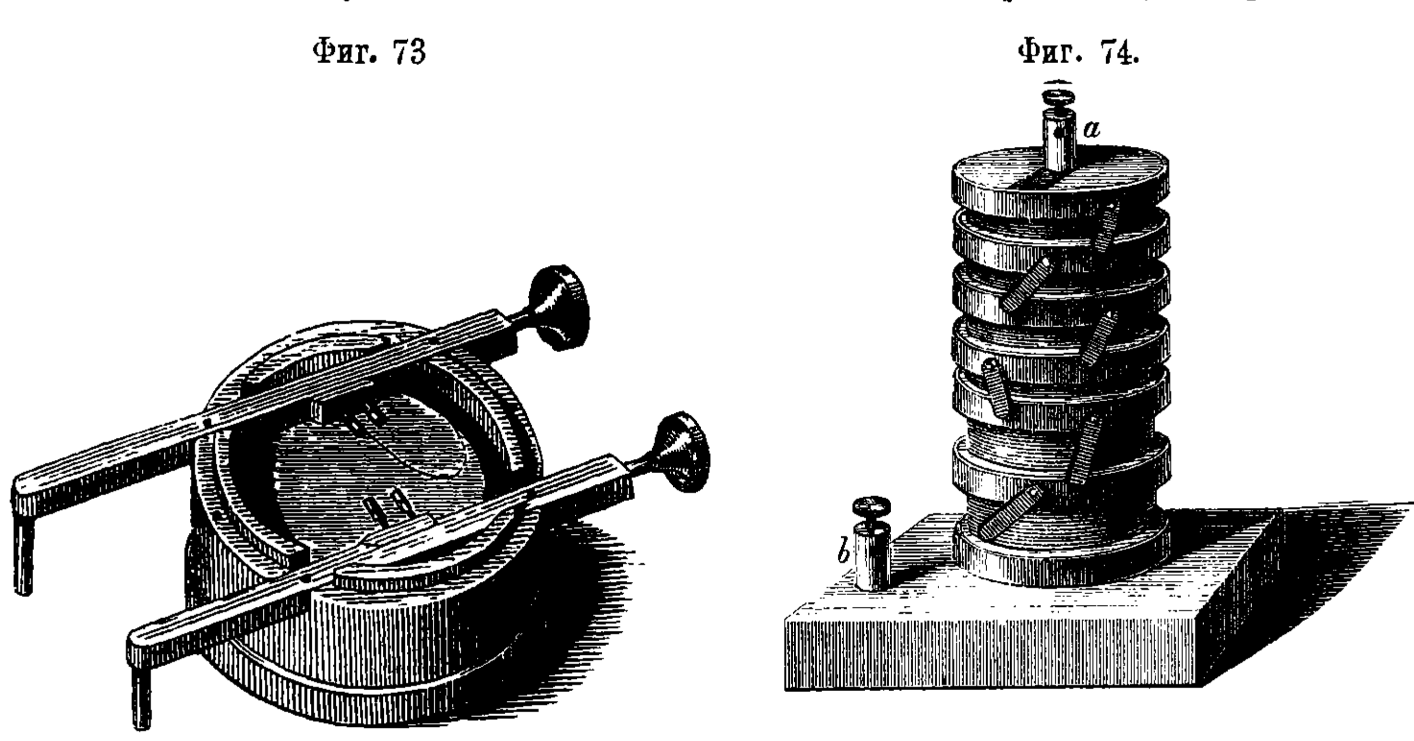


Фиг. 72.

между этими пластинками могутъ быть вставлены металлическіе стержни (см. одинъ между пластинками *a* и *b*), которые соединяютъ одну пластинку съ другою. Внутри ящика находятся катушки проволокъ, изъ которыхъ каждая соединена концами съ парою сосѣднихъ пластинокъ (1 съ *a* и *b*, 2 съ *b* и *c* и т. д.) Длины проволокъ тщательно вы-

браны такъ, что онѣ при опредѣленной температурѣ имѣютъ сопротивленіе, возможно точно равное кратному или опредѣленной части единицы сопротивленія (ома или единицы Сименса). Если вставить всѣ металлическіе стержни, то токъ проходитъ черезъ пластинки *a*, *b*, *c* и т. д. непосредственно. Если же вынуть стержень, то токъ долженъ будетъ пройти черезъ одну изъ находящихся въ ящикѣ, проволокъ, которая вслѣдствіе этого будетъ введена въ цѣпь. На фиг. 72 изображенъ ящикъ, содержащій 10000 единицъ; только четыре стержня вставлены, такъ что введены, какъ легко сосчитать, 4478 единицъ. Для сравненія могутъ служить точныя «единицы Сименса», т. е. проволоки, сопротивленія которыхъ возможно близко равны одной единицѣ Сименса. Онѣ обыкновенно помѣщаются внутри круглыхъ деревянныхъ коробочекъ; на черт. 73 представлена такая коробка безъ крышки. Концы проволоки припаяны къ двумъ толстымъ металлическимъ стержнямъ, которые для

Фиг. 73 Фиг. 74.



введенія «единицы» въ цѣпь снабжены на одномъ концѣ зажимными винтами, на другомъ—вертикальными проволоками, для опусканія, если это удобно, во ртуть. Для быстраго введенія въ цѣпь большихъ сопротивленій можетъ служить приборъ, изображенный на фиг. 74. Отдѣльныя плоскія катушки соединены концами послѣдовательно съ мѣдными кругами, изъ которыхъ каждый можетъ быть соединенъ со слѣдующимъ посредствомъ короткой пластинки, вращающейся около одного своего конца. Электроды соединяются съ зажимными винтами *a* и *b*. Когда всѣ мѣдные круги соединены между собою, токъ непосредственно переходитъ отъ одного круга къ другому и введенное сопротивленіе можно считать равнымъ нулю. Если-же отодвинуть въ сторону одну или нѣсколько изъ соединяющихъ пластинокъ (см. нижнюю на чертежѣ), то будутъ введены въ цѣпь тѣ катушки, которыя заключаются между разъединенными мѣдными кругами.

Для опредѣленія сопротивленія какой нибудь проволоки можно поступить слѣдующимъ образомъ. Въ цѣпь вводится испытуемая проволока, реостатъ и гальванометръ и опредѣляется отклоненіе магнитной стрѣлки на гальванометрѣ. Затѣмъ проволока выводится изъ цѣпи, вслѣдствіе чего отклоненіе стрѣлки увеличивается. Тогда вращаемъ хотя бы цилиндръ реостата Якоби, или вообще вводимъ въ цѣпь сопротивленіе реостата до тѣхъ поръ, пока появится прежняя сила тока. Понятно, что введенное сопротивленіе должно быть равно искомому сопротивленію проводника, который былъ сперва въ цѣпи.

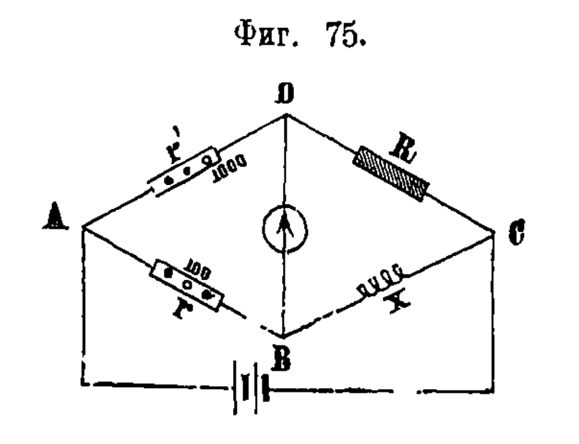
Гораздо болѣе точенъ способъ *опредѣленія сопротивленія посредствомъ мостика Витстона.* Мы видѣли въ предъидущей лекціи, что сила тока въ мостикѣ AC (фиг. 66) равна нулю, когда четыре сопротивленія r_1, r_2, r' и r'' вѣтвей AD, CD, AB и CB удовлетворяютъ уравненію

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r'}{r''}$$

т. е. когда они другъ другу пропорціональны. Предположимъ, что въ мостикъ введенъ гальванометръ и что въ одну изъ вѣтвей введенъ реостатъ и рядомъ съ нимъ испытуемая проволока. Мы измѣняемъ до тѣхъ поръ сопротивленіе въ реостатѣ, пока въ мостикѣ токъ не сдѣлается равнымъ нулю, что̀ обнаружится совершеннымъ спокойствіемъ магнитной стрѣлки въ гальванометрѣ при замыканіи и размыканіи тока въ какомъ нибудь мѣстѣ главной цѣпи, т. е. внѣ развѣтвленія. Затѣмъ исключимъ испытуемую проволоку и введемъ въ реостатъ новое сопротивленіе, вращаемъ, напримѣръ, цилиндръ, если мы имѣемъ реостатъ Якоби, до тѣхъ поръ, пока въ мостикѣ опять токъ будетъ равенъ нулю. Очевидно, это можетъ быть только тогда, когда сопротивленіе той вѣтви, въ которую введены проволока и реостатъ, получитъ прежнее значеніе, когда вмѣсто исключенной проволоки введена какъ разъ такая длина проволоки реостата, которая имѣетъ сопротивленіе, равное сопротивленію испытуемой проволоки.

Можно поступить еще иначе: въ вѣтвь AB (фиг. 75) вводимъ сопротивленіе, равное хотя бы 100 единицамъ Сименса, въ вѣтвь-же AD сопротивленіе въ 10 разъ бо̀льшее, т. е. 1000 единицъ. Въ вѣтвь DC вводимъ реостатъ R и, наконецъ, въ вѣтвь BC, между прочимъ, испытуемую проволоку, сопротивленіе которой x. Если, мѣняя R, достичь того, что въ мостикѣ DB токъ будетъ равенъ нулю, то сопротивленіе въ DC будетъ въ десять разъ больше, чѣмъ сопротивленіе въ BC. Достигнувъ этого, исключимъ проволоку x и соотвѣтственно уменьшимъ сопротивленіе въ реостатѣ R, пока опять токъ въ мостикѣ

Фиг. 75.



будетъ равенъ нулю. Такъ какъ опять сопротивленіе DC должно быть въ 10 разъ больше сопротивленія BC, ясно, что проволока, исключенная въ реостатѣ, имѣетъ какъ разъ сопротивленіе, равное 10 x.

Для опредѣленія *внутренняго сопротивленія элемента* существуетъ множество способовъ. Можно поступить, напр., такимъ образомъ: ввести въ цѣпь кромѣ элемента, сопротивленіе котораго пусть будетъ x, еще гальванометръ, котораго сопротивленіе пусть равно g; сопротивленіе остальныхъ частей цѣпи пусть будетъ r. Если E электровозбудительная сила, то очевидно, что сила тока J выразится, по закону Ома, формулою·

$$J = \frac{E}{x+g+r}.$$

Мы замѣняемъ сопротивленіе r другимъ R, которое выбираемъ такъ, чтобъ сила тока уменьшилась на половину. Тогда

$$\frac{J}{2} = \frac{E}{x+g+R}$$

Изъ этихъ двухъ уравненій имѣемъ прежде всего

$$x+g+R = 2\,(x+g+r),$$

откуда

$$x = R-g-2\ r,$$

такъ что искомое сопротивленіе x элемента выражено черезъ извѣстныя намъ величины R, g и r.

Другіе способы (Манса, Томсона, Флейшля) разсматривать не будемъ.

Для опредѣленія *электровозбудительной силы* элемента, точнѣе, для сравненія электровозбудительныхъ силъ E_1 и E_2 двухъ элементовъ между собою, можно пользоваться многими различными способами. Наиболѣе простой основанъ на сравненіи силъ токовъ J_1 и J_2, получаемыхъ при внѣшнемъ сопротивленіи R цѣпи, весьма большомъ въ сравненіи съ внутренними сопротивленіями r_1 и r_2 элементовъ. По закону Ома, $J_1 = \frac{E_1}{R+r_1}$ и $J_2 = \frac{E_2}{R+r_2}$.

Пренебрегая величинами r_1 и r_2 въ сравненіи съ R, получаемъ

$$J_1 = \frac{E_1}{R} \text{ и } J_2 = \frac{E_2}{R}$$

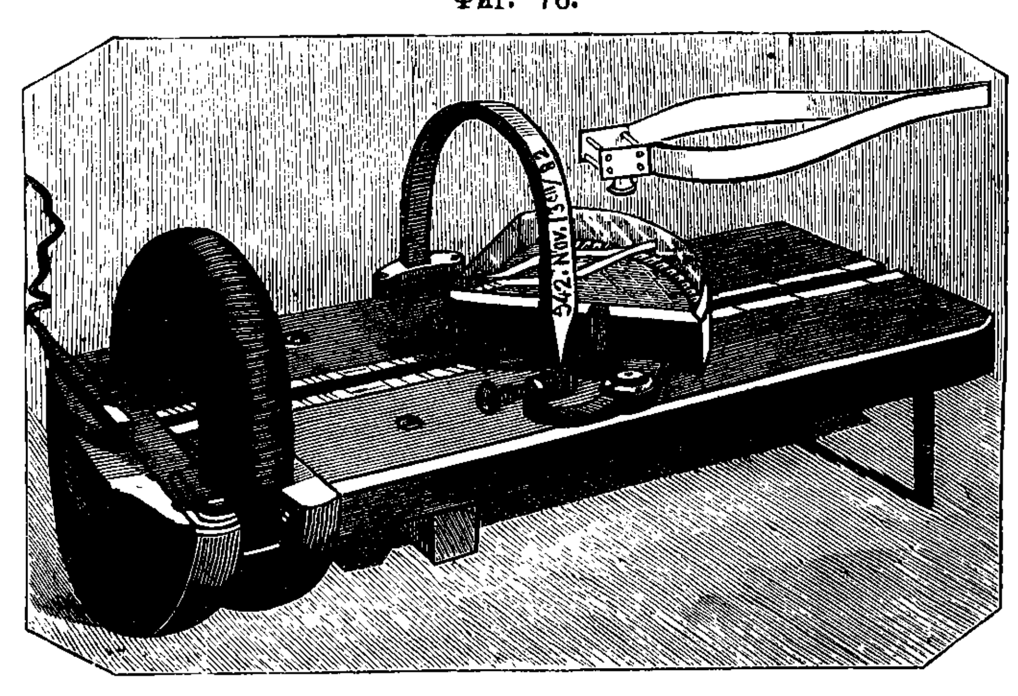
$$\text{откуда } \frac{E_1}{E_2} = \frac{J_1}{J_2},$$

т. е. *электровозбудительныя силы относятся между собою какъ силы токовъ* (при весьма большомъ внѣшнемъ сопротивленіи).

На фиг. 76 изображенъ новый приборъ *В. Томсона*, дающій возможность опредѣлить электровозбудительныя силы непосредственно въ вольтахъ и потому названный *вольтметромъ*. Токъ пропускается черезъ дугообразную катушку (слѣва на чертежѣ), состоящую изъ нейзильберовой проволоки въ 2,000 метровъ длины и представляющую сопротивленіе въ 6,000 омовъ.

Токъ дѣйствуетъ на четыре коротенькія магнитныя стрѣлки, соединенныя съ длиннымъ алюминіевымъ показателемъ (см. отдѣльный чертежъ сверху). Ящикъ, имѣющій форму сектора и покрытый стекломъ, содержитъ эту стрѣлку. Весь ящикъ подвиженъ вдоль горизонтальной планшетки, на которой нанесены номера. Когда ящикъ находится у № 1, то отклоненіе стрѣлки на одно дѣленіе получается при электровозбудительной силѣ равной одному вольту. Около № 2 одинъ вольтъ соотвѣтствуетъ

Фиг. 76.



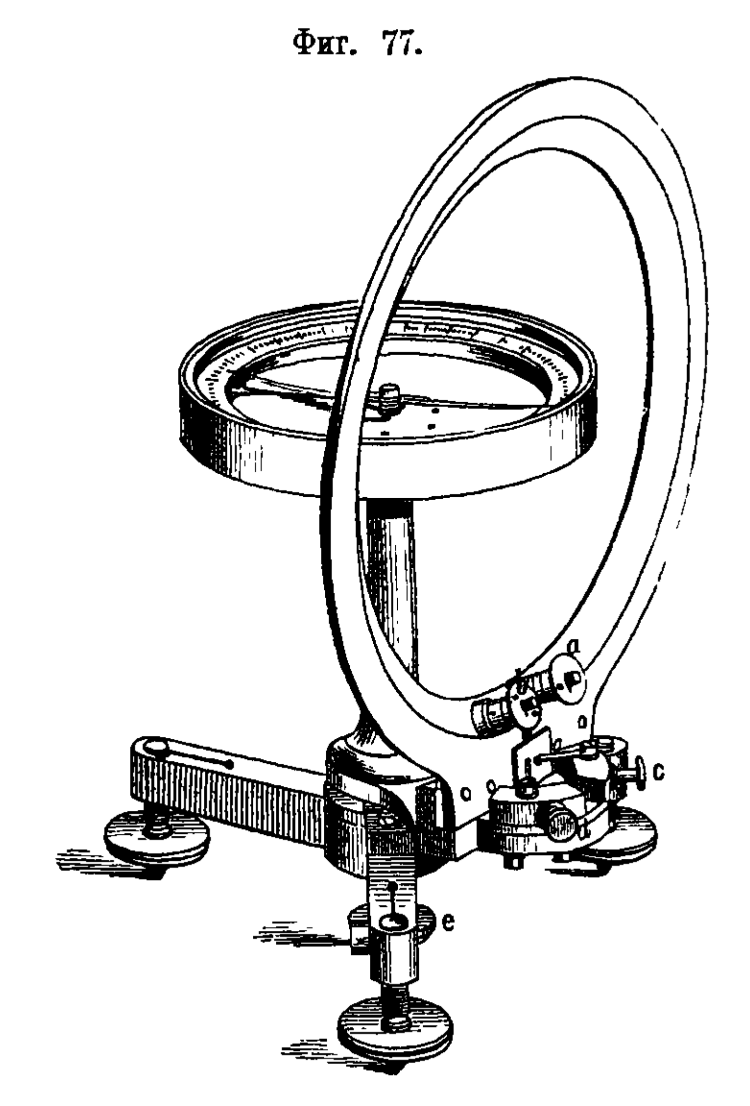
отклоненію алюминіеваго показателя на 2 дѣленія. Вообще измѣряемая электровозбудительная сила пропорціональна числу дѣленій, на которыя отклонилась стрѣлка, и обратно пропорціональна номеру, около котораго находится ящикъ. Для весьма большихъ электровозбудительныхъ силъ (болѣе 100 вольтъ) увеличиваютъ направляющую силу земнаго магнитизма присоединеніемъ дугообразнаго магнита (см. чертежъ), вліяніе котораго съ точностью изслѣдовано предварительно. Приближая ящикъ къ катушкѣ или удаляя его и пользуясь еще при этомъ магнитомъ, можно измѣрять электровозбудительныя силы отъ $\frac{1}{100}$ вольта до 2,000 вольтъ.

Для *измѣренія силы тока*, какъ было сказано на стр. 82, можетъ служить каждое изъ дѣйствій тока; въ большинствѣ случаевъ пользуются дѣйствіемъ тока на магнитную стрѣлку, т. е. сила тока измѣряется *гальванометрами*, устройство которыхъ было подробно разсмотрѣно въ лекціи V. Когда магнитная стрѣлка помѣщается внутри мультипликатора, то, вообще говоря, не легко сказать, въ какой зависимости будетъ находиться уголъ отклоненія стрѣлки отъ силы тока. Необходимо «градуировать» гальванометръ, т. е. путемъ спеціальнаго изслѣдованія опредѣлить, какимъ силамъ тока соотвѣтствуютъ различные углы отклоненія стрѣлки. Есть однако два рода гальванометровъ, для которыхъ такое изслѣдованіе не нужно; это: *тангенсъ-гальвано-*

метръ и *синусъ-гальванометръ.* Тангенсъ-гальванометръ состоитъ изъ большихъ оборотовъ проволоки, составляющихъ какъ бы одно неширокое кольцо, въ центрѣ котораго виситъ небольшой магнитъ. По величинѣ отклоненія этого магнита можно судить о силѣ тока, проходящаго черезъ обороты проволоки, и не трудно показать, что сила тока будетъ пропорціональна тангенсу угла отклоненія магнита. (Если уголъ взять за одинъ изъ острыхъ угловъ прямоугольнаго треугольника, то отношеніе катета, противоположнаго этому углу, къ катету прилежащему называется тангенсомъ угла). Обороты проволоки могутъ также состоять изъ двухъ колецъ, поставленныхъ съ боку отъ магнитной стрѣлки, симметрично съ обѣихъ сторонъ. Разстояніе колецъ въ этомъ случаѣ должно равняться ихъ радіусу.

На фиг. 77 изображенъ тангенсъ-гальванометръ *Гогена*, въ которомъ проволока намотана, съ одной стороны отъ стрѣлки, на кольцѣ, имѣющемъ форму усѣченнаго конуса, вершина котораго находится въ центрѣ магнитной стрѣлки на разстояніи отъ центра круга, равномъ $\frac{1}{2}$ радіуса круга. Вычисленія показываютъ, что въ этомъ случаѣ тангенсъ угла отклоненія довольно точно пропорціоналенъ силѣ тока.

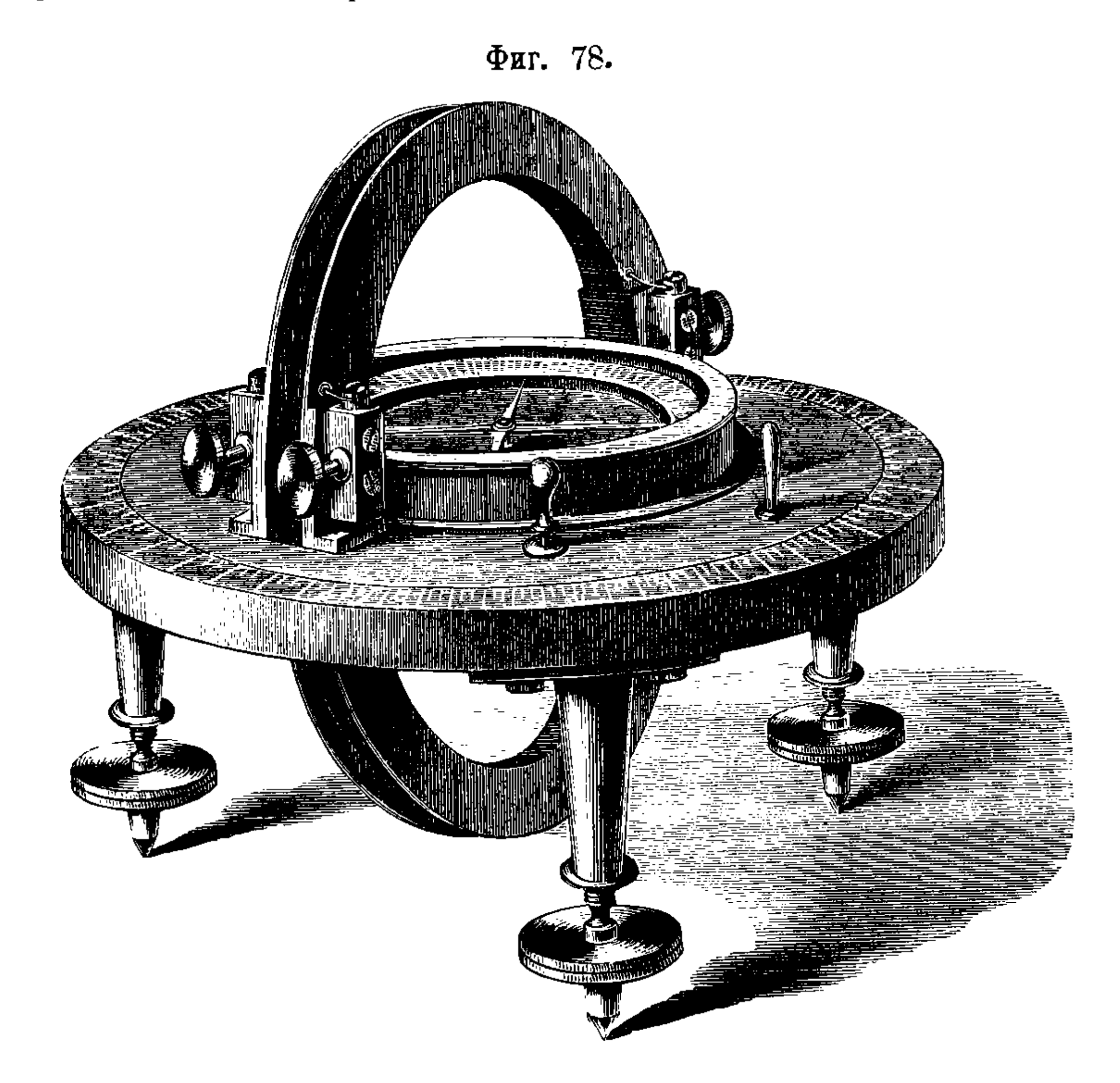
Фиг. 77.



Синусъ-гальванометръ (фиг. 78) состоитъ также изъ кольца оборотовъ проволоки, въ центрѣ которыхъ находится магнитная стрѣлка. Это кольцо можетъ быть вращаемо около вертикальной оси, проходящей, конечно, черезъ центръ магнитной стрѣлки. Если пропустить токъ черезъ проволоку, то магнитъ отклонится. Тогда вращаютъ кольцо вслѣдъ за стрѣлкой, отклоненіе которой при этомъ увеличится. Наконецъ, кольцо какъ бы догонитъ стрѣлку, такъ что они опять будутъ находиться въ одной плоскости. При этомъ уголъ отклоненія будетъ имѣть опредѣленное значеніе. Можно доказать, что сила тока будетъ пропорціональна синусу этого угла отклоненія. (Если уголъ взять за одинъ изъ острыхъ угловъ прямоугольнаго треугольника, то отношеніе катета, противоположнаго этому углу, къ гипотенузѣ называется синусомъ угла).

Синусъ-гальванометръ, изображенный на фиг. 78, построенъ *Сименсомъ*. Магнитная стрѣлка снабжена перпендикулярнымъ къ ней показателемъ. Особая рукоятка служитъ для удобнаго вращенія горизонтальнаго мѣднаго кольца, къ которому прикрѣплено вертикальное кольцо, на которомъ намотана проволока.

Фиг. 78.



Подъ *силою мгновеннаго тока* подразумѣвается количество электричества, протекающаго черезъ проводникъ въ то весьма короткое время, пока существуетъ этотъ токъ (т. е. не въ единицу времени). Мгновенный токъ, пропущенный черезъ гальванометръ, даетъ магнитной стрѣлкѣ толчекъ. Тогда наблюдаютъ уголъ перваго отклоненія магнитной стрѣлки; чѣмъ больше будетъ количество электричества, мгновенно проходящагося, тѣмъ больше будетъ и уголъ перваго отклоненія стрѣлки. Можно доказать, что сила тока пропорціональна синусу половины угла отклоненія.

Сила тока можетъ быть измѣрена и химическими дѣйствіями, напр. тѣмъ количествомъ водорода и кислорода, которыя получаются въ опредѣленное время, когда токъ проходитъ черезъ воду. Токъ, который 1 миллигр. воды разлагаетъ въ 1 секунду, равняется 10,8 амперамъ. Приборъ, служащій для такого рода измѣренія силы тока, называется *вольтаметромъ*.

Физіологическія дѣйствія тока.

Электрическій токъ заставляетъ мышцу, черезъ которую онъ проходитъ, сокращаться. Это свойство тока повело къ открытію гальваническихъ явленій.

Въ 1790 г. врачъ *Людовикъ Гальвани*, профессоръ анатоміи въ Болоньи, препарировалъ лягушку. Вблизи стола, на которомъ лежали препарированныя части лягушки, находилась электрическая машина. Въ комнатѣ кромѣ самого Гальвани было еще нѣсколько лицъ, въ томъ числѣ его жена Лючія, урожденная Галеацци.

Послѣдняя замѣтила то явленіе, которое подало поводъ къ открытію. Разсказываютъ, что это случилось такъ: Гальвани вышелъ изъ комнаты; въ это время кто-то сталъ брать искры изъ электрической машины; на столѣ лежалъ металлическій ножикъ вблизи препарированной лягушки. Вдругъ жена Гальвани замѣтила, что каждый разъ, когда изъ электрической машины брали искры, мышцы лягушки приходили въ судорожное движеніе. Она призвала Гальвани и указала ему на это явленіе; онъ сначала приписывалъ его дѣйствію атмосфернаго электричества, и для дальнѣйшихъ изслѣдованій повѣсилъ препарированную лягушку на балконъ, прикрѣпивъ ее на мѣдномъ крючкѣ къ желѣзной рѣшеткѣ. Каждый разъ, когда вслѣдствіе вѣтра нижнія части конечностей лягушки приходили въ соприкосновеніе съ желѣзными частями рѣшетки, замѣчалось сокращеніе мышцы лягушки. Не будемъ распространяться о невѣрномъ взглядѣ Гальвани на это явленіе, выраженное имъ въ сочиненіи, опубликованномъ въ 1791 году. Только тогда, когда этимъ явленіемъ занялся *Александръ Вольта*, одинъ изъ величайшихъ физиковъ всѣхъ временъ, явленіе было правильно истолковано. Вольта доказалъ, что причина сокращенія мышцъ не атмосферное и не животное электричество, а что сущность явленія заключается въ дѣйствіи соприкосновенія металлическихъ и жидкихъ тѣлъ. Онъ открылъ электризацію при соприкосновеніи, и это привело его въ 1799 г. къ устройству перваго вольтова столба (см. стр. 71.) Вскорѣ послѣ того были открыты дѣйствія тока и затѣмъ быстро стала развиваться наука о гальваническомъ токѣ.

Мышцы вообще при всякомъ раздраженіи сокращаются; раздраженіе можетъ быть химическое (напр. дѣйствіе кислотъ), механическое (если, напр., мышцу ущипнуть) и электрическое. Мы разсмотримъ только вліяніе электрическаго раздраженія на мышцы. Постоянный, не слишкомъ сильный токъ, непрерывно пропускаемый черезъ мышцу, никакого видимаго дѣйствія на нее не производитъ; только въ моментъ, когда токъ, проходящій черезъ мышцу, замыкается или размыкается, происходитъ

мгновенное раздраженіе мышцы, въ связи съ которымъ наблюдается ея сокращеніе. Если чрезвычайно быстро замыкать и размыкать токъ, то раздраженіе мышцы дѣлается постояннымъ и сокращеніе неизмѣннымъ; это явленіе извѣстно подъ названіемъ *столбняка* (tetanus). Во время столбняка происходятъ внутри мышцы какія-то особенно сильныя химическія дѣйствія; кромѣ того, мышца при этомъ издаетъ особый звукъ, который всякій можетъ наблюдать, если вставить въ ухо мизинецъ и затѣмъ натянуть мышцы руки.

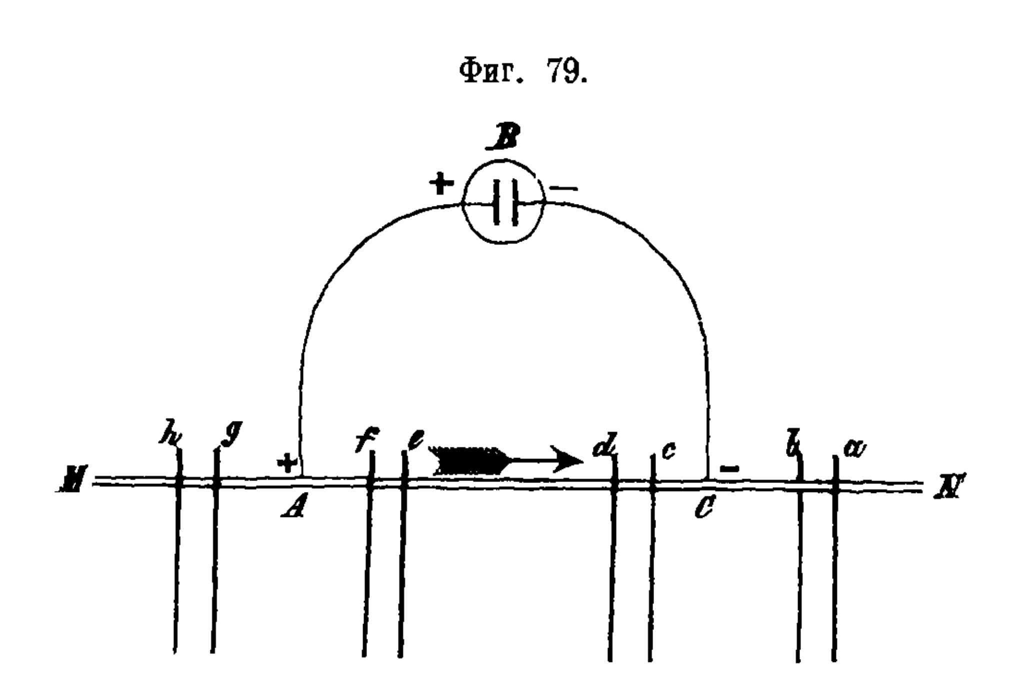
Гельмгольцъ открылъ скрытое возбужденіе, заключающееся въ томъ, что сокращеніе мышцы не начинается тотчасъ-же послѣ дѣйствія электрическаго тока. Оказывается, что между этимъ дѣйствіемъ и началомъ сокращенія мышцы проходитъ нѣкоторое время, которое и называется временемъ *скрытаго возбужденія*. Оно равно не болѣе $^1/_{100}$ секунды. Если раздражать электрическимъ токомъ одинъ конецъ мышцы, то раздраженіе передается отъ одного конца ея въ другой. По первоначальнымъ изслѣдованіямъ эта передача раздраженія происходитъ со скоростію, равною 2 метрамъ въ секунду; по новымъ, болѣе точнымъ изслѣдованіямъ эта скорость бо̀льшая и доходитъ до 4 метровъ въ секунду.

Мышцы сокращаются и въ томъ случаѣ, если раздражать нервы, которые выходятъ изъ этихъ мышцъ. Если положить рядомъ проволоки, идущія отъ батареи, на нервъ, соединенный съ мышцею, то при каждомъ замыканіи или размыканіи тока мышца мгновенно сокращается. Непрерывный, постоянный токъ, проходящій черезъ нервъ, съ перваго взгляда, никакого замѣтнаго дѣйствія на него и на мышцу не производитъ. Если пропускать черезъ часть нерва кратковременные, быстро слѣдующіе другъ за другомъ токи, то получается непрерывное сокращеніе мышцы или столбнякъ. Чѣмъ мѣсто раздраженія нерва будетъ дальше отъ мышцы, тѣмъ позже начинается сокращеніе мышцы. Изъ наблюденій оказывается, что скорость, съ которою раздраженіе передается вдоль нерва къ мышцѣ, равно приблизительно 30 метрамъ въ секунду. Если перерѣзать въ какомъ либо мѣстѣ нервъ, то около разрѣза чувствительность нерва будетъ наибольшая; но затѣмъ она быстро спадаетъ и дѣлается равною нулю. Нервъ умираетъ сперва около мѣста разрѣза и затѣмъ умираніе нерва мало-по-малу распространяется дальше. Мышцы остаются чувствительными еще долгое время послѣ того, какъ весь нервъ умеръ.

Переходимъ къ разсмотрѣнію одного изъ наиболѣе интересныхъ явленій электрическаго тока. Было упомянуто о томъ, что постоянный токъ, проходящій черезъ нервъ, не производитъ съ перваго взгляда никакого видимаго дѣйствія. Однако дѣйствіе есть и притомъ чрезвычайно важное. Положимъ, что линія MN (Фиг. 79) изображаетъ часть нерва; BA и BC двѣ проволоки, чрезъ которыя проходитъ токъ отъ батареи B; чрезъ нервъ онъ идетъ по направленію отъ A къ C. Пока

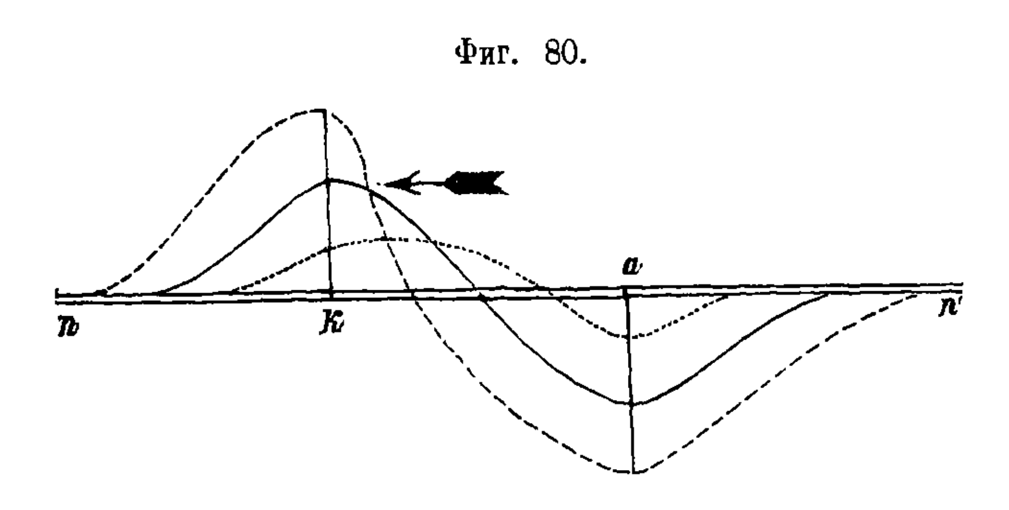
токъ постояненъ, мышца, находящаяся въ связи съ нервомъ, остается въ покоѣ и, какъ сказано, въ нервѣ не замѣтно измѣнеиія. Однако болѣе точныя изслѣдованія показали, что въ нервѣ измѣнена чувствительность къ раздраженію, а именно: *чувствительность увеличилась около отрицательнаго полюса* (т. е. около точки C) и уменьшилась *около*

Фиг. 79.



положительнаго полюса (т. е. около точки A). Если проволоки отъ другой батареи наложить на нервъ въ точкахъ a и b или c и d, то чувствительность окажется большею, чѣмъ при отсутствіи тока, идущаго отъ A къ C, если же ихъ наложить на h и g или на f и e, то она на-

Фиг. 80.

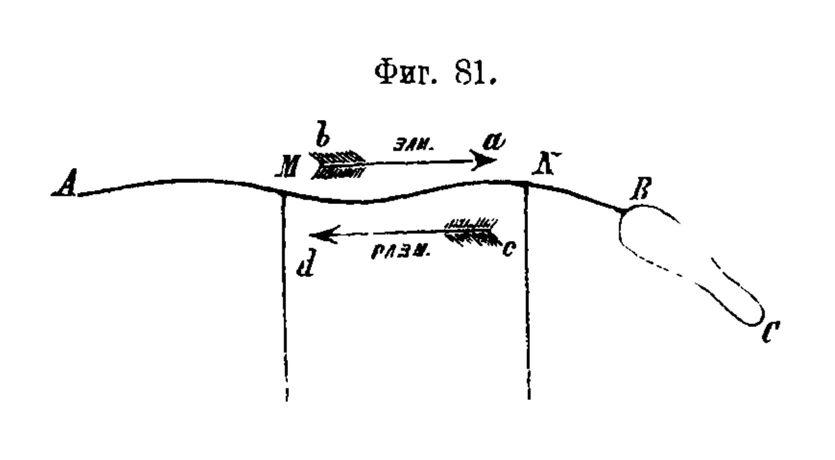


оборотъ окажется меньшею. Это явленіе называется *электротономъ*; явленіе увеличенной чувствительности около отрицательнаго полюса (катода) *катэлектротономъ*, явленіе уменьшенной чувствительности около положительнаго полюса (анода) *анэлектротономъ*. Посреди между A и C окажется точка, чувствительность которой осталась прежняя. Положеніе этой безразличной точки различное, смотря по силѣ тока, что̀ весьма наглядно представлено на фиг. 80: nn' представляетъ нервъ; токъ идетъ отъ a къ k; измѣненіе чувствительности при слабомъ токѣ изобра-

жено кривою пунктиромъ; часть ея, лежащая выше нерва, представляетъ увеличенную, лежащая ниже—уменьшенную чувствительность. Оказывается, что при слабомъ токѣ безразличная точка лежитъ ближе къ аноду, что катэлектротонъ занимаетъ большее пространство, чѣмъ анэлектротонъ. При нѣкоторой средней силѣ тока безразличная точка находится какъ-разъ въ срединѣ между *a* и *k*; распредѣленіе чувствительности въ этомъ случаѣ изображено сплошною кривою. При болѣе сильныхъ токахъ получается кривая, проведенная на чертежѣ черточками; безразличная точка передвинулась къ катоду, и наибольшее пространство занимаетъ анэлектротонъ, уменьшенная чувствительность. Послѣ размыканія тока около анода, гдѣ была уменьшенная чувствительность, въ первый моментъ является обыкновенно увеличенная чувствительность, а около катода уменьшенная.

Разсмотримъ любопытную разницу между восходящими и нисходящими токами Пусть на фиг. 81 *A B* нервъ, *B C* мышца; *M* и *N* точки, въ которыхъ проволоки касаются нерва; токъ, идущій по нерву по направленію стрѣлки *cd*, т. е. отъ мышцы, называется *восходящимъ*, а токъ, идущій по нерву по направленію стрѣлки *ba*, т. е. къ мышцѣ — *нисходящимъ*. Опыты доказываютъ, что *восходящіе токи производятъ раздраженіе только при размыканіи*, при замыканіи же раздраженіе не обнаруживается; напротивъ того, *нисходящіе токи дѣйствуютъ раздражительно только при замыканіи*, при размыканіи же никакого дѣйствія не вызываютъ. Это и указывается на чертежѣ приписками къ стрѣлкамъ буквъ зам. и разм. *Пфлюгеръ* объясняетъ этотъ законъ тѣмъ, что въ моментъ замыканія или размыканія тока раздражается только то мѣсто нерва, гдѣ чувствительность увеличивается, т. е. то мѣсто, гдѣ въ данный моментъ образуется катэлектротонъ или исчезаетъ анэлектротонъ. Напротивъ того, то мѣсто, гдѣ уменьшается чувствительность, гдѣ въ данный моментъ исчезаетъ катэлектротонъ или является анэлектротонъ, не только не служитъ центромъ раздраженія, но даже раздраженіе передаваться дальше черезъ это мѣсто не можетъ. Этою гипотезою легко объясняется выше приведенный законъ. Дѣйствительно, предположимъ сперва, что мы имѣемъ низходящій токъ, обозначенный стрѣлкою *b a*. Тогда въ моментъ замыканія тока будетъ увеличиваться чувствительность нерва въ точкѣ *N*. Здѣсь образуется катэлектротонъ и будетъ центръ раздраженія, которое безпрепятственно передастся мышцѣ, которая и сокращается. Если же размыкаемъ токъ, то въ точкѣ

Фиг. 81.



M исчезаетъ анэлектротонъ, слѣд. въ *M* чувствительность увеличивается и будетъ центръ раздраженія, которое однако не можетъ перейти къ мышцѣ, такъ какъ на пути, въ *N*, въ этотъ же моментъ исчезаетъ катэлектротонъ, т. е. чувствительность уменьшается и потому чрезъ это мѣсто раздраженіе передаться не можетъ. Положимъ теперь, что мы имѣемъ восходящій токъ, обозначенный стрѣлкою *cd*. При замыканіи катэлектротонъ является въ *M*, здѣсь будетъ центръ раздраженія, которое передаться не можетъ, потому что на дорогѣ, въ *N*, въ этотъ же моментъ образуется анэлектротонъ. При размыканіи центръ раздраженія будетъ въ *N*, гдѣ исчезаетъ анэлектротонъ и это раздраженіе передается свободно къ мышцѣ. Такимъ образомъ гипотеза Пфлюгера вполнѣ объясняетъ, отчего нисходящіе токи раздражаютъ только при замыканіи, восходящіе только при размыканіи. Все сказанное относится, впрочемъ, только къ току средней силы и къ неумирающему нерву.

Справедливость своей гипотезы Пфлюгеръ старался доказать еще слѣдующимъ опытомъ. Если черезъ часть нерва продолжительное время пропускать токъ, то при размыканіи его въ мышцѣ появляется столбнякъ, называемый *Риттеровскимъ столбнякомъ*. Что и въ этомъ случаѣ раздраженіе исходитъ отъ анода, т. е. того мѣста, гдѣ исчезъ анэлектротонъ, Пфлюгеръ доказалъ тѣмъ, что если токъ былъ нисходящій и тотчасъ послѣ размыканія перерѣзать нервъ между электродами, то столбнякъ мгновенно исчезаетъ. Если же токъ былъ восходящій, то анодъ лежитъ ближе къ мышцѣ и перерѣзываніе не мѣняетъ состоянія столбняка. Наконецъ Пфлюгеръ указываетъ еще на слѣдующее обстоятельство: для нервовъ, не дѣйствующихъ на мышцы, а передающихъ ощущенія къ центральнымъ органамъ (мозгу), законъ дѣйствія восходящихъ и нисходящихъ токовъ долженъ быть обратный, чѣмъ для первыхъ, такъ какъ воспринимающій раздраженіе органъ находится не на нижнемъ, а на верхнемъ концѣ нерва. Такъ и оказывается: Пфлюгеръ нашелъ, что сильные восходящіе токи производятъ ощущеніе только при замыканіи, сильные нисходящіе токи—только при размыканіи.

Самыя *мышцы* содержатъ въ себѣ источники электрической силы, и если двѣ точки поверхности вырѣзанной мышцы соединить съ весьма чувствительнымъ гальванометромъ, то въ немъ замѣчается присутствіе тока, т. е. обнаруживается присутствіе электровозбудительной силы внутри мышцы. Не входя въ подробности, ограничимся указаніемъ на высказанный впервые *Германомъ* въ 1868 г. законъ, что перерѣзанныя или поврежденныя мѣста мышцы играютъ роль отрицательнаго полюса въ сравненіи съ неповрежденными или неперерѣзанными мѣстами мышцъ, что вообще обнаруживается токъ во внѣшней цѣпи отъ раздраженной точки къ нераздраженной. Оказывается, что мышца не поврежденная, получить которую очень трудно, вовсе не содержитъ въ себѣ источника электровозбудительной силы.

При раздраженіи всей мышцы, когда она сокращается, сила тока, получающагося отъ нея, уменьшается. Это явленіе называется *отрицательнымъ колебаніемъ тока.*

Подобно мышцамъ и *железы* даютъ токи, обнаруживаемые чувствительнымъ мультипликаторомъ (напр. железы, выдѣляющія потъ, слюну и т. д.), и на нихъ замѣчается явленіе отрицательнаго колебанія тока при раздраженіи.

Наконецъ все сказанное относится и къ *нервамъ*. Касаясь электродами, идущими отъ мультипликатора, точки, лежащей на боковой поверхности вырѣзанной части нерва, и точки, лежащей на площади поперечнаго сѣченія, получается токъ отъ первой точки ко второй. Поврежденное мѣсто опять оказывается отрицательнымъ; и на нервахъ замѣчается явленіе отрицательнаго колебанія тока.

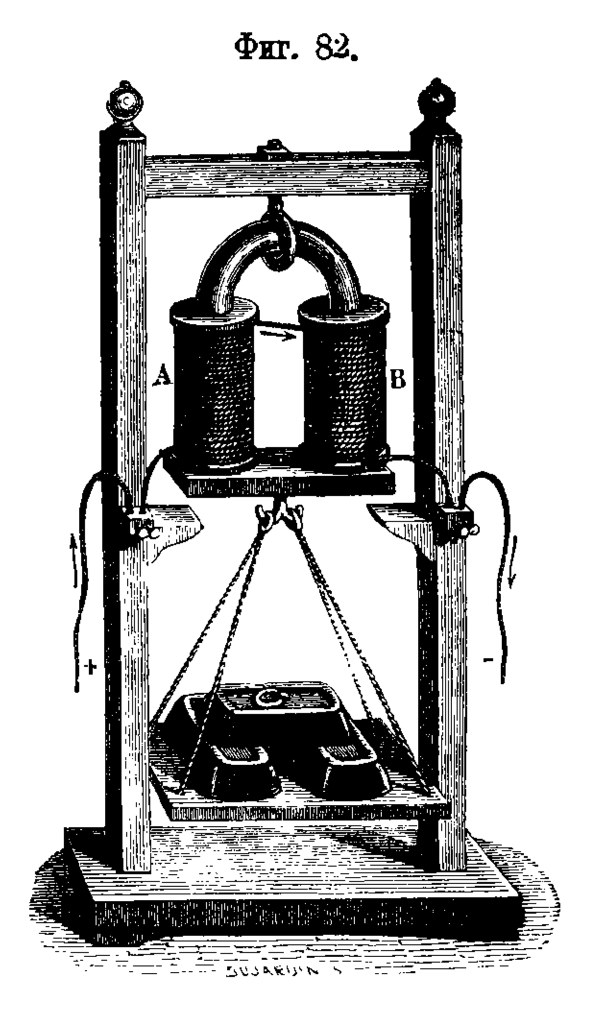
О томъ, что электричествомъ пользуются для леченія больныхъ, распространяться не будемъ; укажемъ только на то, что леченіе электричествомъ извѣстно уже съ давнихъ поръ. Нѣкоторыя племена негровъ на западномъ берегу Африки купаютъ больныхъ дѣтей въ водѣ, въ которой живутъ электрическія рыбы. Еще въ прошломъ столѣтіи лечили больныхъ статическимъ электричествомъ; затѣмъ, до 1835 г., пользовались почти исключительно только постояннымъ токомъ. Въ настоящее время для леченія болѣзней пользуются и постояннымъ, и перемѣннымъ (индуктированнымъ) токомъ. *Электротерапія*—наука чисто эмпирическая; она добываетъ результаты только ощупью, путемъ опытовъ, показавшихъ, что нѣкоторыя болѣзни вылечиваются опредѣленнаго рода токами, пропускаемыми въ опредѣленномъ направленіи черезъ опредѣленныя части тѣла. Точныхъ гипотезъ или теорій, повидимому, почти не существуетъ; основная мысль, при леченіи электричествомъ, заключается въ томъ, что токъ постоянный или перемѣнный, проходя вдоль нервовъ, производитъ на нихъ такого рода дѣйствіе, что если нервы ослабли, то отъ раздраженія электрическимъ токомъ они какъ бы получаютъ новую силу.

Электромагнитизмъ.

Мы уже видѣли на стр. 82, что кусокъ желѣза или стали, помѣщенный внутри спиральной проволоки, намагничивается. какъ только пропускается токъ черезъ эту проволоку (см. фиг. 56). Притомъ сталь удерживаетъ часть магнитизма и послѣ исчезновенія тока, желѣзо же получаетъ магнитизмъ лишь временный. Этимъ можно пользоваться для весьма быстраго полученія искусственныхъ магнитовъ. Желѣзный стержень. намагничиваемый токомъ, называется электромагнитомъ; ему можно придавать *форму подковы*, на вѣтви которой надѣваются катушки съ изолированною проволокою. Къ концамъ подковы прикладываютъ ку-

сокъ мягкаго желѣза, называемый *якоремъ* (фиг. 82), который притягивается электромагнитомъ съ весьма большою силою. По изслѣдованіямъ *Ленца и Якоби*, для незначительной намагничивающей силы тока, можно считать, что магнитизмъ стержня пропорціоналенъ силѣ тока. Грузъ, который можетъ удержать электромагнитъ, будетъ, въ тѣхъ же предѣлахъ, пропорціоналенъ квадрату силы тока.

Фиг. 82.



При быстромъ намагничиваніи и размагничиваніи желѣзнаго стержня иногда слышится слабый шумъ.

Если приблизить конецъ желѣзнаго стержня къ цилиндрической спирали, черезъ которую проходитъ токъ, то стержень намагничивается и весьма сильно втягивается во внутрь цилиндра. Если же внутри цилиндра помѣстить стальной магнитъ и пропустить черезъ проволоку токъ, стремящійся возбудить въ стержнѣ какъ разъ обратно расположенные полюсы, то стержень (если не перемагнитится слишкомъ сильнымъ токомъ) выталкивается изъ спирали. Для всякаго стержня существуетъ предѣльное намагниченіе, когда онъ «насыщенъ». Максимумъ магнитизма пропорціоналенъ квадрату толщины стержня. При несильныхъ токахъ намагничивается только поверхностный слой стержня; но по мѣрѣ увеличенія силы тока магнитизмъ проникаетъ все глубже и глубже во внутрь стержня.

Тепловыя дѣйствія тока.

Мы уже указывали на то, что всякій проводникъ, черезъ который проходитъ токъ, при этомъ нагрѣвается. Въ 1844 г. одновременно *Ленцъ* (въ Петербургѣ) и *Джуль* (въ Англіи) нашли законъ: *количество тепла, выдѣляющагося при прохожденіи гальваническаго тока черезъ проводникъ въ единицу времени, пропорціонально квадрату силы тока и пропорціонально сопротивленію проводника.* Обозначивъ черезъ Q выдѣляющееся тепло, черезъ J силу тока и черезъ W сопротивленіе проводника, получаемъ на основаніи закона Ленца и Джуля формулу

$$Q = K J^2 W.$$

Для приблизительнаго разсчета, можно запомнить, что сила тока, равная одному амперу, въ мѣдной проволокѣ, толщина которой одинъ

миллиметръ, выдѣляетъ въ одну минуту столько тепла, что проволока нагрѣвается на 0,1° Цельс., полагая, что можно пренебречь количествомъ тепла, потеряннаго вслѣдствіе тепловаго лучеиспусканія. Законъ Ленца и Джуля объясняется слѣдующимъ образомъ. Мы видѣли, что если въ двухъ точкахъ проволоки потенціалъ равенъ V_1 и V_2, такъ что разность потенціаловъ будетъ равна $V_1 - V_2$, то, при переходѣ количества электричества J отъ одной точки къ другой, будетъ производиться работа, равная произведенію разности потенціаловъ на это количество электричества, или, если оно протекаетъ въ одну секунду,—на силу тока. Итакъ, работа, а слѣдовательно и эквивалентное ей количество выдѣляющагося тепла

$$Q = K\,(V_1 - V_2)\,J,$$

гдѣ K множитель пропорціональности. Сила тока J, по закону Ома, равна электровозбудительной силѣ или разности потенціаловъ $V_1 - V_2$, дѣленной на W, откуда разность потенціаловъ

$$V_1 - V_2 = JW.$$

Подставляя вмѣсто разности потенціаловъ произведеніе $J\,W$ въ первую формулу, получимъ

$$Q = K\,J^2 W$$

т. е. разсматривая нагрѣваніе проволоки какъ результатъ работы, произведенной внутри проволоки, мы получаемъ, что количество выдѣленнаго тепла пропорціонально квадрату силы тока и пропорціонально сопротивленію проводника, т. е. законъ Ленца и Джуля. Если мы будемъ измѣрять всѣ величины системою $C.\ G.\ S.$ единицъ, вытекающихъ изъ сантиметра, грамма и секунды, то, при переходѣ одной единицы количества электричества между двумя точками, имѣющими единицу разности потенціаловъ, производится какъ разъ единица работы (эргъ) и выдѣляется единица тепла (эргъ). Въ этомъ случаѣ множитель $K = 1$ и

$$Q = J^2\,W \text{ эргамъ;}$$

повторяемъ: J и W должны быть выражены въ $C.\ G.\ S.$ единицахъ Мы видѣли (стр. 110), что эргъ работы равенъ $\frac{1{,}02}{10^8}$ килограммъ-метрамъ; слѣдовательно,

$$Q = \frac{1{,}02}{10^8}\,J^2\,W \text{ килогр.-метрамъ,}$$

или

$$Q = \frac{1{,}02}{425.\ 10^8}\,J^2\,W \text{ калоріямъ.}$$

Если величины J и W выражены въ амперахъ и омахъ (амперъ равенъ 10^9 $C.\ G.\ S.$ единицамъ силы тока; омъ равенъ 10^9 $C.\ G.\ S.$ единицамъ сопротивленія) см. стр. 112), то

$$Q = \frac{1{,}02\ 10^9}{425.\ 10^2\ 10^8}\,J^2\,W \text{ калоріямъ}$$

или

$$Q = \frac{1{,}02}{4250} J^2 W \text{ калоріямъ}$$

или

$$Q = \frac{1020}{4250} J^2 W = 0{,}24 \ \ J^2 W \text{ малымъ калоріямъ,}$$

если сила тока J выражена въ амперахъ и сопротивленіе W въ омахъ.

Итакъ, одинъ амперъ выдѣляетъ въ одну секунду въ одномъ омѣ 0,24 малыхъ калорій тепла, изъ которыхъ каждая нагрѣваетъ одинъ граммъ воды на 1° Ц. При этомъ производится работа, равная 0,102 килограммъ-метрамъ, или 10 мегаэргамъ. J амперовъ даютъ въ n секундъ въ W омахъ 0,24 n J²W малыхъ калорій или 0,102 n J²W килогр.-метровъ.

Интересенъ вопросъ, какое произведется токомъ повышеніе температуры? Извѣстно, что если P вѣсъ тѣла въ граммахъ и c его теплоемкость, то для повышенія его температуры на t градусовъ Цельзія требуется Pct малыхъ калорій. Если повышеніе температуры произошло въ одну секунду отъ дѣйствія тока, то должно быть

$$Ptc = 0{,}24 \ \ J^2 W,$$

откуда

$$t = 0{,}24 \frac{J^2 W}{cP}.$$

Эта окончательная формула опредѣляетъ, на сколько въ одну секунду повысится температура проволоки, черезъ которую проходитъ токъ въ J амперовъ, когда сопротивленіе ея равно W омамъ, P вѣсъ ея въ граммахъ и теплоемкость равна c.

Можно вывести еще другую формулу, болѣе интересную. Повышеніе температуры, *при данной силѣ тока*, очевидно, не должно зависѣть отъ длины проволоки: между тѣмъ, сопротивленіе W и вѣсъ P зависятъ отъ длины l. Вмѣсто сопротивленія W вставимъ

$$W = k \frac{l}{d^2},$$

гдѣ k удѣльное сопротивленіе, l длина и d толщина, а вмѣсто вѣса P его выраженіе

$$P = \frac{\pi \ d^2 \ l \ \delta}{4},$$

гдѣ $\pi = 3{,}1415926....$ и δ плотность матеріала. Тогда

$$\frac{W}{P} = \frac{4 \ k \ l}{d^2 \ \pi \ d^2 \ l \ \delta} = \frac{4 \ k}{\pi \ \delta \ d^4},$$

и потому

$$t = 0{,}3056 \frac{k \ J^2}{c \ \delta \ d^4}.$$

Замѣтимъ, что удѣльное сопротивленіе ртути (круглаго столба въ одинъ сантиметръ длины и толщины)

$$k = 0{,}0001237 \text{ омамъ.}$$

Послѣдняя формула показываетъ, что *повышеніе температуры проводника при прохожденіи тока пропорціонально квадрату силы тока J, пропорціонально удѣльному сопротивленію k и обратно пропорціо-*

нально четвертой степени толщины проводника. Если напр. одинъ проводникъ будетъ въ два раза тоньше другаго, при одинаковомъ матеріалѣ и одинаковой силѣ тока, то онъ въ одинаковое время нагрѣлся-бы въ 16 разъ больше, еслибъ не было потери тепла отъ лучеиспусканія; если онъ въ 3 раза тоньше, то повышеніе его температуры было бы въ 81 разъ больше и т. д.

Полное количество тепла, Q', выдѣляющагося во всей цѣпи, получится, очевидно, по формулѣ $Q = J^2\ W$, если только, вмѣсто сопротивленія W части цѣпи, вставить сопротивленіе всей цѣпи, которое обозначимъ, какъ прежде, черезъ $W + w$. Итакъ, $Q' = J^2\ (W + w)$. Если мы однако вспомнимъ, что, по закону Ома, сила тока J равна электровозбудительной силѣ E, дѣленной на сумму тѣхъ-же сопротивленій $W + w$, то, поставивъ вмѣсто J^2 дробь $\frac{E^2}{(W + w)^2}$, получимъ $Q' = \frac{E^2}{W + w}$. Послѣднія двѣ формулы показываютъ, что полное количество тепла, Q', выдѣляющагося во всей цѣпи при данной силѣ тока J, пропорціонально сопротивленію всей цѣпи. При данной же электровозбудительной силѣ E, т. е. *при данной* напр. *батареи, количество теплоты обратно пропорціонально сопротивленію всей цѣпи*, т. е. чѣмъ больше будетъ сопротивленіе цѣпи, тѣмъ меньше во всѣхъ ея частяхъ, взятыхъ вмѣстѣ, будетъ выдѣляться тепла.

Мы видѣли (стр. 102), что при разомкнутой цѣпи количество свободнаго электричества, находящагося на электродахъ, въ высшей степени незначительно; что, вообще говоря, искра не можетъ получиться, какъ бы близко мы ни приближали одинъ изъ электродовъ къ другому. Дѣйствительно, 12 элементовъ Даніеля могутъ дать искру, длина которой равна всего 0,00005 дюйма, т. е. совершенно невидимую, и требуется до десяти тысячъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, чтобы получить искру, длиною въ нѣсколько миллиметровъ. Какимъ образомъ однако объясняется появленіе яркой искры при всякомъ размыканіи тока? Эту искру не слѣдуетъ смѣшивать съ тою, которая появляется между электродами громадныхъ батарей. При размыканіи тока происходитъ слѣдующее: предъ самымъ прекращеніемъ соприкосновенія двухъ проводниковъ, такъ сказать, въ послѣдній моментъ передъ размыканіемъ, токъ будетъ проходить черезъ одну какую нибудь почти математическую точку, черезъ находящіеся на поверхностяхъ проводниковъ бугорки, которые, послѣдніе, соприкасаются,—слѣд., черезъ весьма узкое мѣсто. Ясно, что эта часть проводника, черезъ которую проходитъ весь токъ, чрезвычайно сильно накаливается и получаемая при этомъ искра есть ничто иное, какъ раскаленная частица металла. Что это объясненіе дѣйствительно вѣрное, ясно изъ того, что окраска искры, получаемой при размыканіи тока, зависитъ отъ металла, изъ котораго состоятъ проводники въ томъ мѣстѣ, гдѣ происходитъ размыканіе.

ЛЕКЦІЯ VIII.

Полученіе вольтовой дуги; сгараніе углей. *Регуляторы:* Фуко-Дюбоска, Серрена, Геффа и Бреша. *Дифференціальные регуляторы* Сименса и Чиколева. *Свѣча Яблочкова;* солнечная лампа Клерка и Бюро. *Лампы съ накаливаніемъ:* Ренье, Вердермана и Ренье Дюкрете. *Нитевыя лампы:* Ладыгина, Эдиссона, Максима и Свана. —*Гальванокаустика*

Электрическое освѣщеніе.

Свойствомъ электрическаго тока нагрѣвать проводники, черезъ которые онъ проходитъ, пользуются при электрическомъ освѣщеніи, сущность производства котораго заключается въ томъ, что заставляютъ токъ накаливать палочки изъ прессованнаго угля до весьма высокой температуры. Мы уже имѣли случай упомянуть о томъ, что даже при весьма большихъ электровозбудительныхъ силахъ нельзя получить искры, тѣмъ болѣе свѣта, какъ бы близко ни придвинуть электроды одинъ къ другому; но если къ электродамъ прикрѣпить угольныя палочки и довести ихъ до соприкосновенія, то въ моментъ замыканія тока, при достаточной его силѣ, концы угольковъ накаливаются. Вслѣдствіе этого накаливается и окружающій ихъ воздухъ, послѣ чего можно нѣсколько раздвинуть угольки, безъ того, чтобы токъ прекратился; онъ не перестанетъ переходить отъ одного уголька къ другому чрезъ раскаленный и, слѣдовательно, разрѣженный воздухъ. Концы углей, въ особенности положительнаго, и яйцевидная часть воздуха между ними испускаютъ при этомъ ослѣпительный свѣтъ, образуется такъ наз. *вольтова дуга.* Угли могутъ быть помѣщены въ стеклянномъ сосудѣ, изъ котораго выкачивается воздухъ. Тогда накаливаніе углей можетъ продолжаться довольно долго. Если разстояніе между угольками по какой-либо причинѣ сдѣлается слишкомъ значительнымъ, то токъ перестанетъ проходить отъ одного уголька къ другому, свѣтъ прекращается и вольтова дуга исчезаетъ; для возстановленія его необходимо вновь привести угольки въ соприкосновеніе.

Угольные электроды, при накаливаніи на воздухѣ, горятъ; при этомъ положительный вдвое скорѣе сгораетъ, чѣмъ отрицательный. Въ вольтовой дугѣ происходитъ при этомъ чрезвычайно быстрый переносъ мельчайшихъ частицъ угля по направленію самаго тока, отъ положительнаго угля къ отрицательному, вслѣдствіе чего па положительномъ полюсѣ образуется выемка, такъ наз. кратеръ, а на отрицательномъ полюсѣ происходитъ, напротивъ, наращиваніе угля.

На чертежѣ (фиг. 83), нижній уголь положительный, верхній отрицательный. На обоихъ замѣчаются какіе-то, словно жидкіе, подвижные шарики.

Въ настоящее время существуютъ 3 главныя системы электриче-

скаго освѣщенія; приборы, при этомъ употребляющіеся, суть *регуляторы, электрическія свѣчи и лампы съ накаливаніемъ.*

Приборы, посредствомъ которыхъ угли, по мѣрѣ сгаранія ихъ, приближаются другъ къ другу, называются регуляторами.

Регуляторъ Фуко-Дюбоска (фиг. 84), устроенъ слѣдующимъ образомъ: угольки прикрѣплены къ двумъ вертикальнымъ стержнямъ, снабженнымъ зубчиками, захватываемыми колесами двухъ часовыхъ меха-

Фиг. 83.

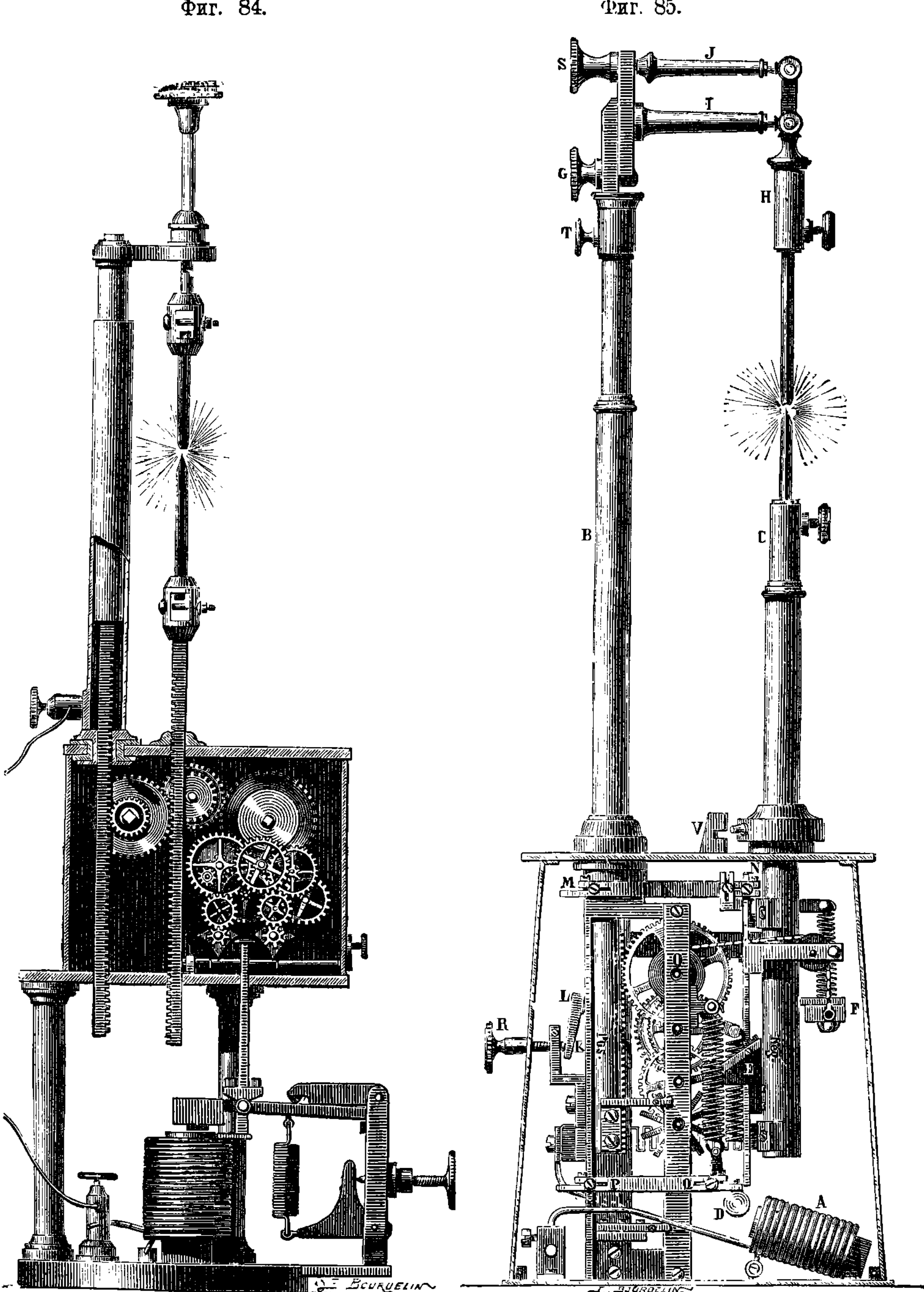
низмовъ, изъ которыхъ одинъ раздвигаетъ стержни, другой ихъ сдвигаетъ. Подъ ящикомъ, въ которомъ находятся эти часовые механизмы, помѣщенъ сильный электромагнитъ, чрезъ который пропускается тотъ же самый токъ, который служитъ для накаливанія угольковъ и который даетъ вольтову дугу. Надъ этимъ электромагнитомъ имѣется якорь, снабженный вертикальнымъ стержнемъ съ двумя боковыми выступами на верху, входящимъ въ ящикъ, содержащій часовые механизмы. Вся система вращается около средней точки. Если якорь не притянутъ электромагнитомъ, то правый выступъ вертикальнаго стержня мѣшаетъ вращаться одному (правому) изъ двухъ маленькихъ колесиковъ, вслѣдствіе чего

не можетъ дѣйствовать тотъ часовой механизмъ, который угли раздвигаетъ. Въ это время свободно дѣйствуетъ тотъ часовой механизмъ, который сдвигаетъ угольки и къ которому принадлежитъ другое (лѣвое) колесико. Какъ скоро произойдетъ соприкосновеніе угольковъ, замыкается токъ, который, вмѣстѣ съ тѣмъ, проходитъ и черезъ нижній электромагнитъ, вслѣдствіе чего тотчасъ же притягивается якорь. Послѣдній спускается внизъ, вертикальный стержень передвигается на лѣво и освобождаетъ задержанное правое колесо, т. е. освобождаетъ часовой механизмъ, который служитъ для раздвиганія угольковъ; но вмѣстѣ съ тѣмъ, противоположный, лѣвый на чертежѣ, выступъ стержня захватываетъ лѣвое колесо другаго часоваго механизма, служащаго для сдвиганія угольковъ—угольки начинаютъ расходиться; между ними появляется вольтова дуга. Если угольки разошлись на столько, что токъ уже почти не можетъ преодолѣть сопротивленія образовавшагося между угольками пространства, онъ ослабѣваетъ во всей цѣпи, слѣд. и въ электромагнитѣ; якорь, освобожденный отъ придерживающей его къ низу силы, снова приподымается (отъ дѣйствія особой пружины), а вертикальный стержень снова зацѣпляетъ правое колесо часоваго механизма, раздвигающаго угольки. Угольки снова начинаютъ сдвигаться. Такимъ образомъ, то опускающійся, то подымающійся якорь регулируетъ разстояніе между угольками, не даетъ имъ ни слишкомъ сблизиться, ни слишкомъ разойтись.

Въ регуляторѣ *Серрена* (фиг. 85), верхній уголь въ H придѣланъ сбоку къ вертикальному стержню, находящемуся въ трубкѣ B, нижній конецъ котораго снабженъ зубчиками (см. лѣвую сторону чертежа); въ эти зубчики захватываетъ зубчатое колесо, въ связи съ которымъ находится цѣлый рядъ другихъ колесъ. Нижній уголекъ этого регулятора вставленъ въ трубку C, прикрѣпленную нижнимъ концомъ къ верхнему правому углу N четырехугольной рамки $MNDP$, обхватывающей всѣ колесики и стержень съ зубчиками. Къ правой сторонѣ рамки придѣланъ боковой треугольный выступъ E. Къ нижнему правому углу рамки прикрѣпленъ желѣзный горизонтальный стержень D, служащій якоремъ электромагнита A, расположеннаго наклонно въ нижней части регулятора. Вся рамка вращается на двухъ шарнирахъ около точекъ M и P, такъ что нижній уголекъ, треугольный выступъ и якорь электромагнита могутъ одновременно нѣсколько приподняться или спуститься.

Если угольки находятся далеко другъ отъ друга, такъ что токъ не замкнутъ, стержень, вслѣдствіе своего вѣса, вмѣстѣ съ верхнимъ уголькомъ будетъ опускаться и при этомъ приводить во вращеніе первое колесо; этимъ же будутъ приведены во вращеніе и всѣ остальные колесики. Изъ нихъ послѣднее расположено такъ, что если треугольный выступъ вмѣстѣ съ рамкой опускается внизъ, то онъ задѣваетъ за его крылья, вслѣдствіе чего вся система колесъ останавливается.

Когда верхній уголь, опускаясь, дойдетъ до соприкосновенія съ



Фиг. 84. Фиг. 85.

нижнимъ, замыкается токъ, который проходитъ черезъ обмотку элек-

тромагнита *A*; тотчасъ притянется якорь *D*, вслѣдствіе чего рамка вмѣстѣ съ нижнимъ уголькомъ опустится внизъ; въ то же время треугольный выступъ *E* останавливаетъ движеніе колесъ, а слѣдовательно и верхняго угля. Такимъ образомъ, не смотря на то, что между угольками образуется промежутокъ, верхній уголекъ опускаться уже не можетъ, такъ что этотъ промежутокъ становится постояннымъ. Между углями появляется вольтова дуга и происходитъ горѣніе угольковъ, вслѣдствіе чего разстояніе между ними начинаетъ увеличиваться и, наконецъ, становится такимъ значительнымъ, что токъ, встрѣчая большое между угольками сопротивленіе, дѣлается слабымъ. Тогда электромагнитъ *A* перестаетъ притягивать якорь *D*, рамка *MNDP* приподнимается вверхъ (отъ дѣйствія особой пружины) и выступъ *E* освобождаетъ колесо; система колесъ, освободившись отъ задерживающей силы, вращается свободно; тогда, какъ было сначала, вслѣдствіе своей тяжести верхній уголекъ начинаетъ опускаться; это движеніе тотчасъ прекращается, какъ скоро разстояніе между угольками становится достаточно малымъ, токъ достаточно сильнымъ; тогда дѣйствіемъ электромагнита *A* на якорь *D* и рамку, а затѣмъ выступа *E* на послѣднее колесо, дальнѣйшее сближеніе угольковъ прекращается. Такимъ образомъ устанавливается довольно равномѣрная по силѣ свѣта вольтова дуга. Въ описанномъ приборѣ свѣтящаяся точка, по мѣрѣ сгоранія нижняго угля, опускается. Существуютъ другого рода регуляторы Серрена, въ которыхъ нижній, отрицательный уголь приподнимается, когда верхній, положительный, опускается, но въ два раза медленнѣе, такъ какъ онъ и сгораетъ въ два раза медленнѣе, чѣмъ верхній. Въ этихъ приборахъ свѣтящаяся точка остается неподвижною на одномъ мѣстѣ.

Изъ огромнаго числа различныхъ регуляторовъ ограничиваемся наиболѣе интересными. Желающихъ ближе ознакомиться съ этимъ вопросомъ отсылаемъ къ книгѣ Госпиталье «Главнѣйшія приложенія электричества», переводъ С. Степанова 1883 г.

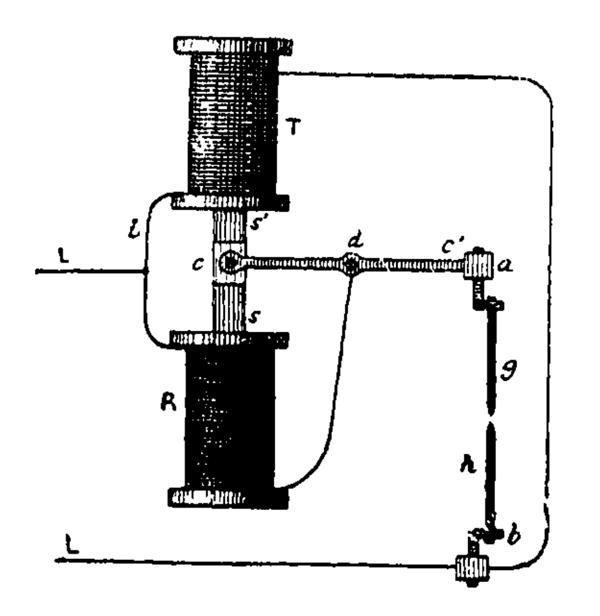
Цѣлый рядъ регуляторовъ основанъ на втяженіи желѣзнаго стержня спиральною проволокою, чрезъ которую проходитъ токъ. Главная часть регулятора *Гефа* состоитъ изъ вертикально поставленной проволочной цилиндрической спирали, въ которую сверху входятъ желѣзный стержень, къ верхнему концу котораго придѣланъ нижній уголекъ; верхній уголекъ придѣланъ къ стержню, нижній конецъ котораго имѣетъ зубчики. Положимъ, что сначала угли приведены въ соприкосновеніе; токъ проходитъ тогда черезъ спираль и тянетъ внизъ желѣзный стержень, чему сопротивляется опредѣленнымъ образомъ устроенная система колесъ и пружинъ; желѣзный стержень съ нижнемъ углемъ опускается, вслѣдствіе чего между углями образуется вольтова дуга. Если разстояніе углей становится слишкомъ большимъ, то электрическій токъ ослабѣваетъ; ослабѣваетъ и сила спирали, а вслѣдствіе этого система пружинъ вновь приподнима-

етъ желѣзный стержень на ту высоту, которая необходима для уравновѣшиванія силъ спирали и пружинъ.

Регуляторъ *Бреша* основанъ на томъ же принципѣ, только съ тою разницею, что спиральный цилиндръ, втягивающій стержень, находится надъ нимъ; нижній уголь неподвиженъ. Понятно, что когда токъ проходитъ чрезъ спираль, то послѣдняя поднимаетъ стержень къ верху. По мѣрѣ сгоранія угольковъ, когда разстояніе между ними становится большее, токъ ослабѣваетъ, и дѣйствующая система пружинъ опускаетъ стержень съ верхнимъ углемъ.

Переходимъ въ такъ называемымъ *дифференціальнымъ регуляторамъ*, которые даютъ возможность пропускать токъ через нѣсколько приборовъ послѣдовательно, безъ того, чтобы погасаніе одного заставило погаснуть и другіе. Схема *дифференціальнаго регулятора Сименса* представлена на фиг. 86. Онъ состоитъ изъ двухъ бобинъ (спиральныхъ проволокъ) R и T; между ними и отчасти внутри ихъ находится желѣзный стержень $s\ s'$, къ которому придѣланъ боковой стержень ca, вращающійся около точки d, и къ концу a котораго прикрѣпленъ уголь g. Другой уголь h прикрѣпленъ неподвижно. Распредѣленіе проволокъ ясно изъ чертежа. Токъ входитъ по проволокѣ L и выходитъ по проволокѣ L'. Легко понять, что если угли находятся въ соприкосновеніи, то токъ имѣетъ два пути, чтобы пройдти чрезъ лампу. Развѣтвляясь, онъ, вопервыхъ, пройдетъ по проволокѣ l через верхнюю спираль T и затѣмъ по проволокѣ, находящейся на правомъ краѣ чертежа, къ точкѣ b; вовторыхъ, токъ пройдетъ черезъ нижнюю спираль R и затѣмъ по пути $dc'aghb$ черезъ то мѣсто, гдѣ угли находятся въ соприкосновеніи. При обыкновенномъ расположеніи спиралей, угли не находятся въ соприкосновеніи. Положимъ, что токъ пропускается черезъ лампу. Такъ какъ нѣтъ соприкосновенія углей, токъ можетъ пройдти только черезъ верхнюю спираль T, вслѣдствіе чего въ ней является чрезвычайно значительная втягивающая сила; желѣзный стержень ss' приподнимается кверху; угольки приходятъ въ соприкосновеніе, боковая вѣтвь замыкается, послѣ чего уже только часть тока проходитъ черезъ верхнюю, часть—черезъ нижнюю спираль; но вслѣдствіе того, что токъ проходитъ отчасти и черезъ нижнюю спираль R, послѣдняя начинаетъ тянуть внизъ желѣзный стержень, вслѣдствіе чего угли раздвигаются и между ними появляется вольтова дуга. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока притягательныя силы обѣихъ бобинъ взаимно не уравновѣшиваются.

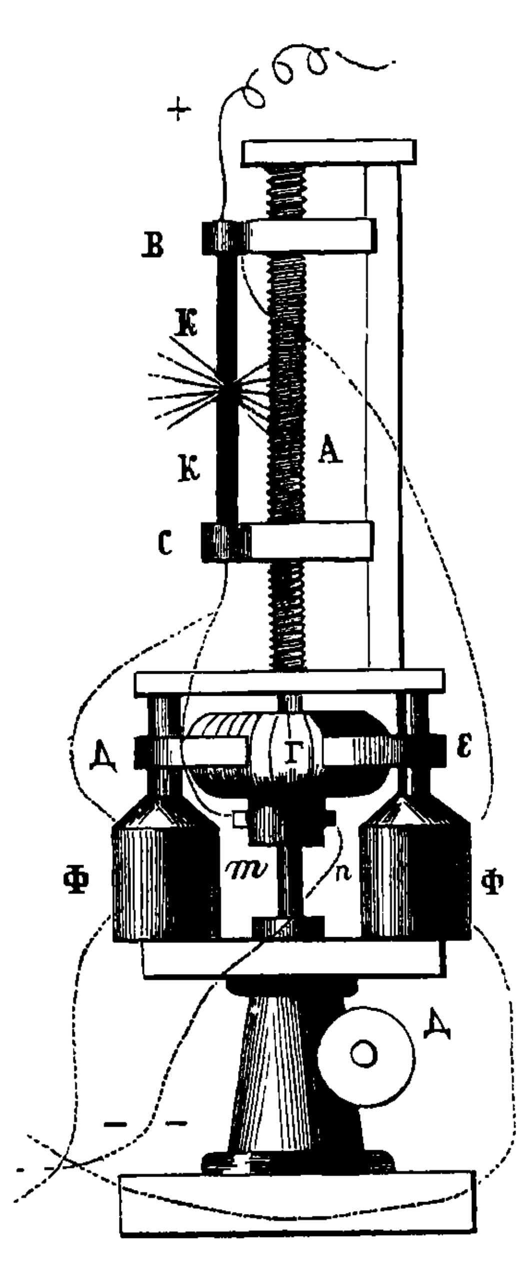
Фиг. 86.



Если разстоянiе углей вслѣдствiе ихъ сгоранiя или по какой нибудь другой причинѣ сдѣлается слишкомъ большимъ, то токъ встрѣтитъ въ нижней вѣтви проволочной системы большее сопротивленiе, главная его часть начнетъ проходить черезъ верхнюю спираль, вслѣдствiе чего въ ней увеличится притягательная сила, стержень ss' приподнимется и угольки вновь сблизятся. Слишкомъ сблизиться они также не могутъ, потому что этому препятствуетъ слишкомъ усиливающiйся въ этомъ случаѣ токъ, проходящiй черезъ нижнюю спираль *R*.

Принципъ дифференцiальныхъ лампъ принадлежатъ *В. Н. Чиколеву*, одна изъ первыхъ лампъ котораго представлена на фиг. 87. Угли *К* прикрѣплены къ двумъ пластинкамъ *В* и *С*, которыя раздвигаются, когда винтъ *А* вращается въ одномъ, сближаются, когда онъ вращается въ другомъ направленiи. На ось винта насажено Граммово колесо *Г*, устройство котораго будетъ разсмотрѣно впослѣдствiи; оно имѣетъ свойство отъ дѣйствiя электромагнита начинать вращаться. Два электромагнита *Ф* стремятся вращать колесо въ противоположныя направленiя. Когда угли *К* не касаются другъ друга и мы пропускаемъ токъ черезъ лампу, то онъ отъ *В* идетъ только къ правому электромагниту *Ф*; если же угли приведены въ соприкосновенiе и образовалась между ними вольтова дуга, то часть тока проходитъ черезъ кольцо *Г* и лѣвый электромагнитъ; смотря по тому, который изъ двухъ электромагнитовъ въ данный моментъ будетъ сильнѣе, кольцо *Г* будетъ вращаться въ одномъ или въ другомъ направленiи, а угли будутъ сближаться или раздвигаться. Существуютъ болѣе новыя лампы г. Чиколева (съ катушкой Сименса), чертежъ которыхъ однако еще не былъ опубликованъ. На фиг. 87 винтъ *А* изображенъ неправильно: винтовыя нарѣзки въ верхней и нижней половинахъ винта должны идти въ противоположныя стороны.

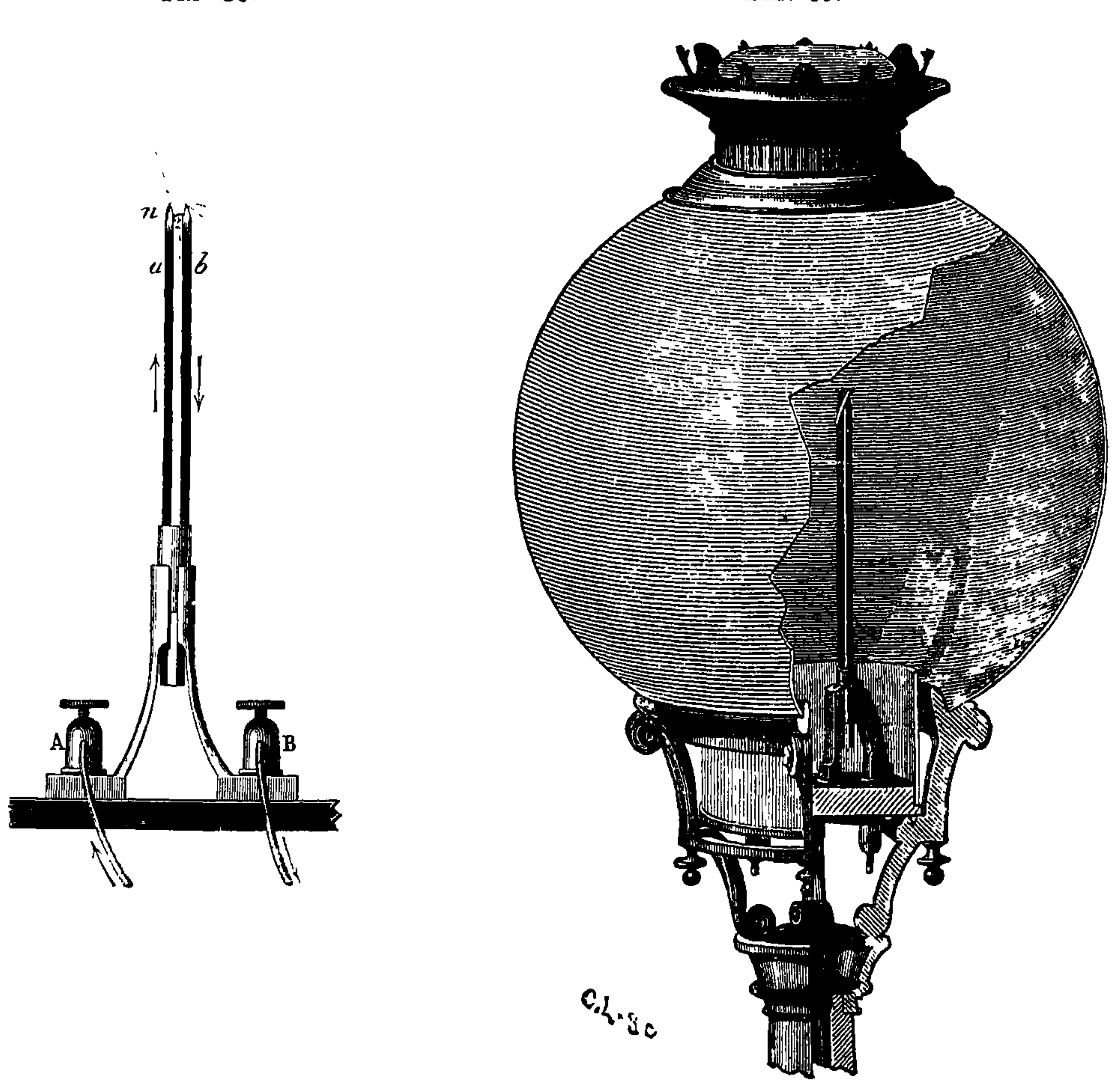
Фиг. 87.



Наилучшую во многихъ отношенiяхъ систему электрическаго освѣщенiя представляютъ *свѣчи Яблочкова*. Ему пришла генiальная по простотѣ мысль (въ 1876 г.), вмѣсто того, чтобы помѣщать угли одинъ

надъ другимъ, поставить ихъ рядомъ, параллельно между собою и между ними помѣстить непроводящее электричество вещество, каолинъ или просто гипсъ. Верхнія части угольковъ соединяются кусочкомъ тѣста (состоящаго изъ порошка кокса, графита и раствора гумми-арабика въ водѣ), называемымъ запаломъ. Если пропустить токъ черезъ оба угля,

Фиг. 88. Фиг. 89.



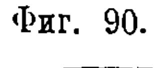
то запалъ сгораетъ и между углями появляется вольтова дуга. На фиг. 88-й изображена свѣча Яблочкова, а на фиг. 89 фонарь изъ матоваго стекла, часть котораго снята, такъ что видна помѣщенная внутри свѣча. По мѣрѣ того, какъ свѣча горитъ сверху внизъ, улетучивается и находящееся между углями непроводящее вещество; разстояніе же между угольками остается одно и то же. Вслѣдствіе того, что положительный уголь горитъ вдвое быстрѣе, чѣмъ отрицательный, необходимо для свѣчей пользоваться перемѣннымъ токомъ, т. е. токомъ, мѣняющимъ свое

направленіе, по крайней мѣрѣ разъ въ минуту. Свѣча горитъ два часа.

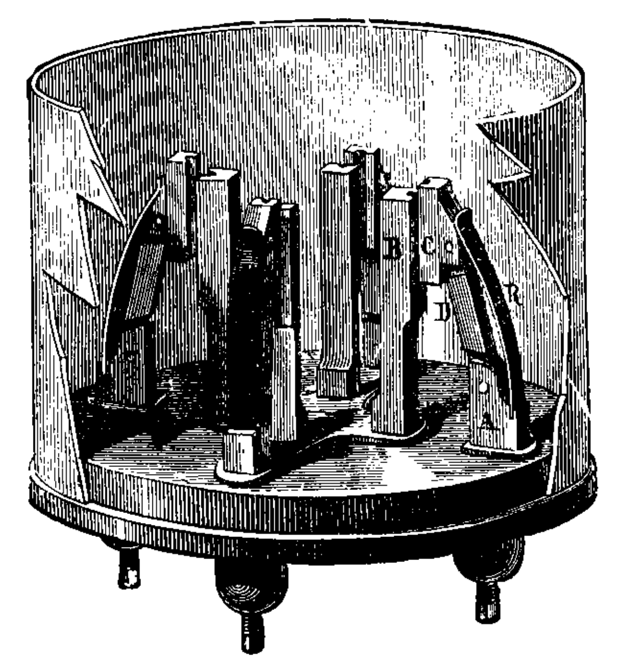
На фиг. 90-й представлена внутренняя часть лампы для четырехъ свѣчей, изъ которыхъ одна вставляется, напр., между желобами стержней *B* и *C*, надавливаемыхъ другъ къ другу пружиною *R*.

Существуетъ большое число разнообразныхъ измѣненій свѣчи Яблочкова (Вильда, Жамена и др.). Интересна *спиральная свѣча г. Тихомірова*, состоящая изъ двухъ углей, одного прямого, другого—имѣющаго видъ спирали. Промежутокъ между ними заполненъ изолирующимъ веществомъ. Эта свѣча можетъ горѣть при постоянномъ токѣ, причемъ болѣе длинный спиральный уголь, конечно, служитъ положительнымъ полюсомъ.

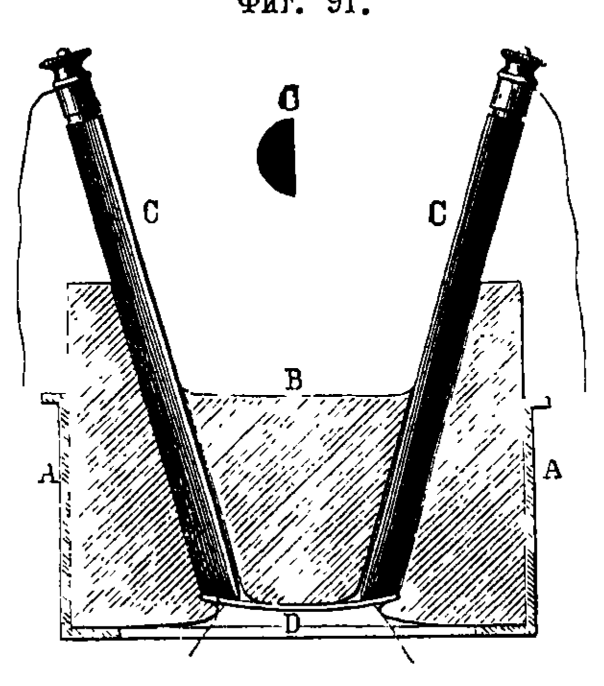
Г. Тихоміровымъ изобрѣтена также свѣча, состоящая изъ одного угольнаго и другого, рядомъ стоящаго, мѣднаго стержней. Послѣдній остается неизмѣннымъ на очень долгое время освѣщенія.



Фиг. 90.



Фиг. 91.

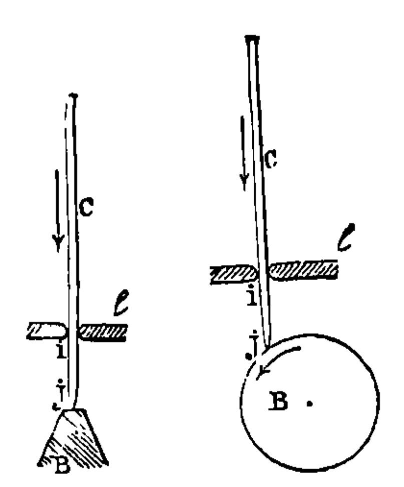


Въ нѣкоторомъ смыслѣ видоизмѣненіемъ свѣчи Яблочкова можно считать и *солнечную лампу* (lampe soleil), изобрѣтенную *Клеркомъ и Бюро*. Схематически она представлена на фиг. 91. Угли *C* помѣщаются между кускомъ мрамора *B* и двумя камнями *A*, снабженными небольшими выступами, на которые угли упираются. Угольная палочка *D* служитъ запаломъ и въ *D* образуется вольтова дуга. По мѣрѣ сгоранія угли опускаются внизъ собственною тяжестью. Раскаленная поверхность мрамора между углями отчасти проводитъ токъ, вслѣдствіе чего можетъ образоваться необыкновенно длинная вольтова дуга. Угли съ полукруглымъ сѣченіемъ (c) берутся весьма толстые, такъ что лампа можетъ дѣйствовать до 16 часовъ съ ряду.

Переходимъ къ такъ называемымъ *лампамъ «съ накаливаніемъ»*,

важнѣйшую группу которыхъ *составляютъ цитевыя лампы.* Въ 1871 году *Ренье* замѣтилъ, что тонкая угольная палочка, находящаяся въ соприкосновеніи съ большимъ кускомъ угля, при пропусканіи чрезъ нее тока, накаливается только на самомъ концѣ. На этомъ основаны лампы, которыя можно назвать *съ накаливаніемъ и горѣніемъ.* Модель одной изъ лампъ Ренье представлена на фиг. 92. Тоненькая угольная палочка C упирается въ большой кусокъ угля B. Нижній конецъ j палочки, при пропусканіи тока, испускаетъ яркій свѣтъ. Въ другой модели Ренье сдѣлалъ нижній уголь подвижнымъ. Тонкая угольная палочка C (фиг. 93) касается сверху круглой угольной массы B, которая, отъ дѣйствія толчковъ со стороны верхняго уголька, медленно вращается по направленію стрѣлки. По мѣрѣ сгоранія, угольная палочка опускается, оставаясь въ соприкосновеніи съ большимъ круглымъ кускомъ. Нѣчто подобное происходитъ въ лампѣ, изобрѣтенной

Фиг. 92. Фиг. 93.

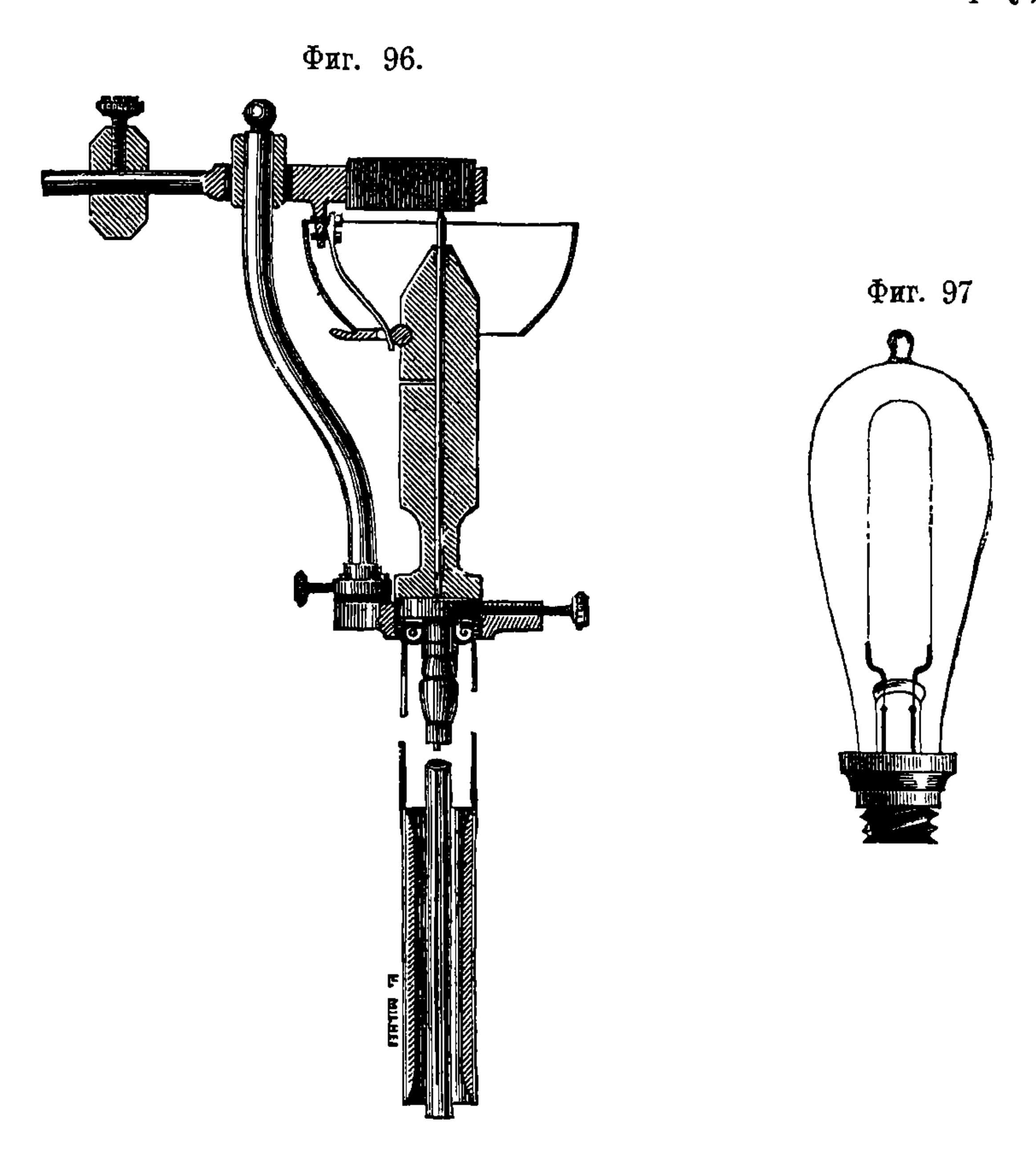


Фиг. 94.

Фиг. 95.

г. Ренье въ 1879 году. Она изображена на фиг. 94, нижняя ея часть въ увеличенномъ видѣ на фиг. 95. Накаливаніе тоненькой палочки проявляется между углями L и B. Движеніе палочки производится опусканіемъ ци-

линдра *p*, нажимающаго на ея верхнюю часть. Нѣкоторое видоизмѣненіе лампы Ренье составляетъ лампа *Вердермана*, въ которой большой кусокъ угля находится сверху, а угольная палочка снизу придавливается къ нему посредствомъ простой системы веревочекъ, блоковъ и грузовъ. Она представлена на фиг. 96. На этомъ же принципѣ основана лампа *Ренье-Дюкретé*. Здѣсь угольная масса помѣщена также на верху, а тонкая



Фиг. 96.

Фиг. 97

угольная палочка находится въ сосудѣ со ртутью, гидростатическое давленіе которой непрерывно снизу придавливаетъ палочку къ верхней угольной массѣ. Этотъ приборъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что токъ нагрѣваетъ ртуть, такъ что лампа даетъ вредныя для здоровья выдѣленія ртутныхъ паровъ.

Лампы, въ которыхъ происходитъ только *накаливаніе угля безъ горѣнія*, были предложены еще въ сороковыхъ годахъ, а затѣмъ въ особенности въ 1873 г. *А. Н. Ладыгинымъ*. Онъ предложилъ помѣстить весьма тонкую угольную палочку въ пустотѣ между двумя болѣе толстыми углями; токъ, проходя черезъ палочку, накаливаетъ ее. Г. Ладыгину не удалось добиться распространенія своей системы. Практиче-

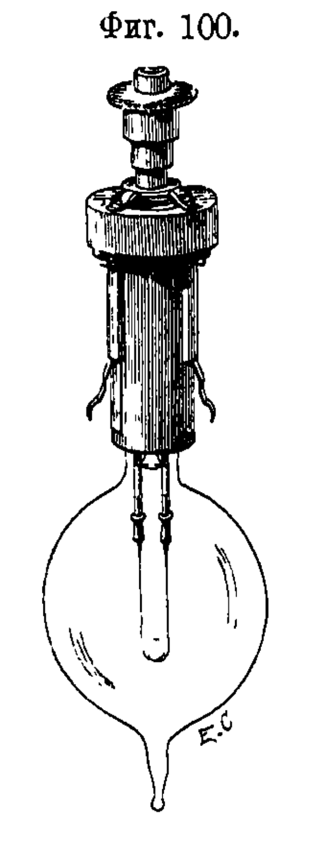
скаго результата въ этомъ отношенiи удалось достигнуть впервые *Эдис-*

Фиг. 98.

Фиг. 99.

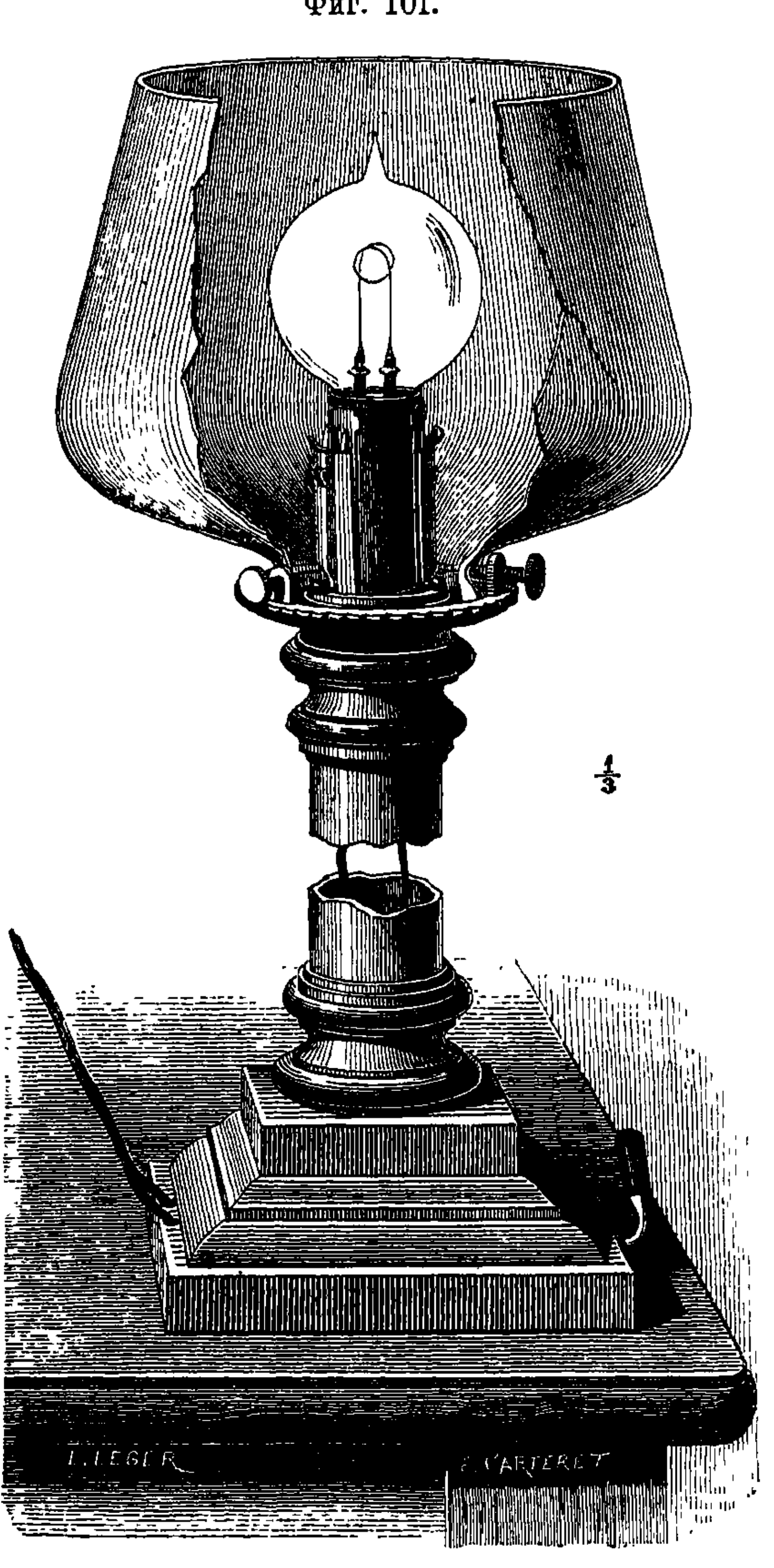
сону, который сначала устроилъ лампы, въ которыхъ накаливались платиновыя проволоки, что̀, впрочемъ, вскорѣ оказалось по многимъ причинамъ неудобнымъ. Тогда онъ замѣнилъ платиновую проволоку угольною нитью Лампа Эдиссона состоитъ изъ стекляннаго сосуда (фиг. 97), изъ котораго выкачанъ воздухъ и внутри котораго находится тончайшая угольная нить, которая накаливается при пропусканiи черезъ нее тока. Другой видъ лампы Эдиссона представленъ на фиг. 98. *Лампа Максима* имѣетъ подобное же устройство; угольная нить имѣетъ форму буквы М. Она изображена на фиг. 99. Въ лампѣ Свана нить имѣетъ форму спирали (см. фиг. 100). Наконецъ, имѣются лампы съ весьма различною формою угольныхъ нитей. Эти нити состоятъ изъ обугленнаго органическаго волокна; сопротивленiе ихъ весьма значительное, до 250 омовъ въ холодномъ состоянiи. Въ лампѣ Максима нить приготовляется изъ бристольскаго картона, въ лампѣ Свана— изъ хлопчатобумажныхъ волоконъ. Нитевыя лампы могутъ горѣть до 1000 часовъ.

Фиг. 100.



Въ настоящее время и у насъ въ Россіи началось изготовленіе нитевыхъ лампъ (изъ особаго рода травы), ничуть не уступающихъ лампамъ Эдиссона, Максима и т. д. Первая ихъ установка происходила въ Павловскомъ вокзалѣ лѣтомъ 1883 г. Онѣ называются *русскими лампочками.*

Фиг. 101.

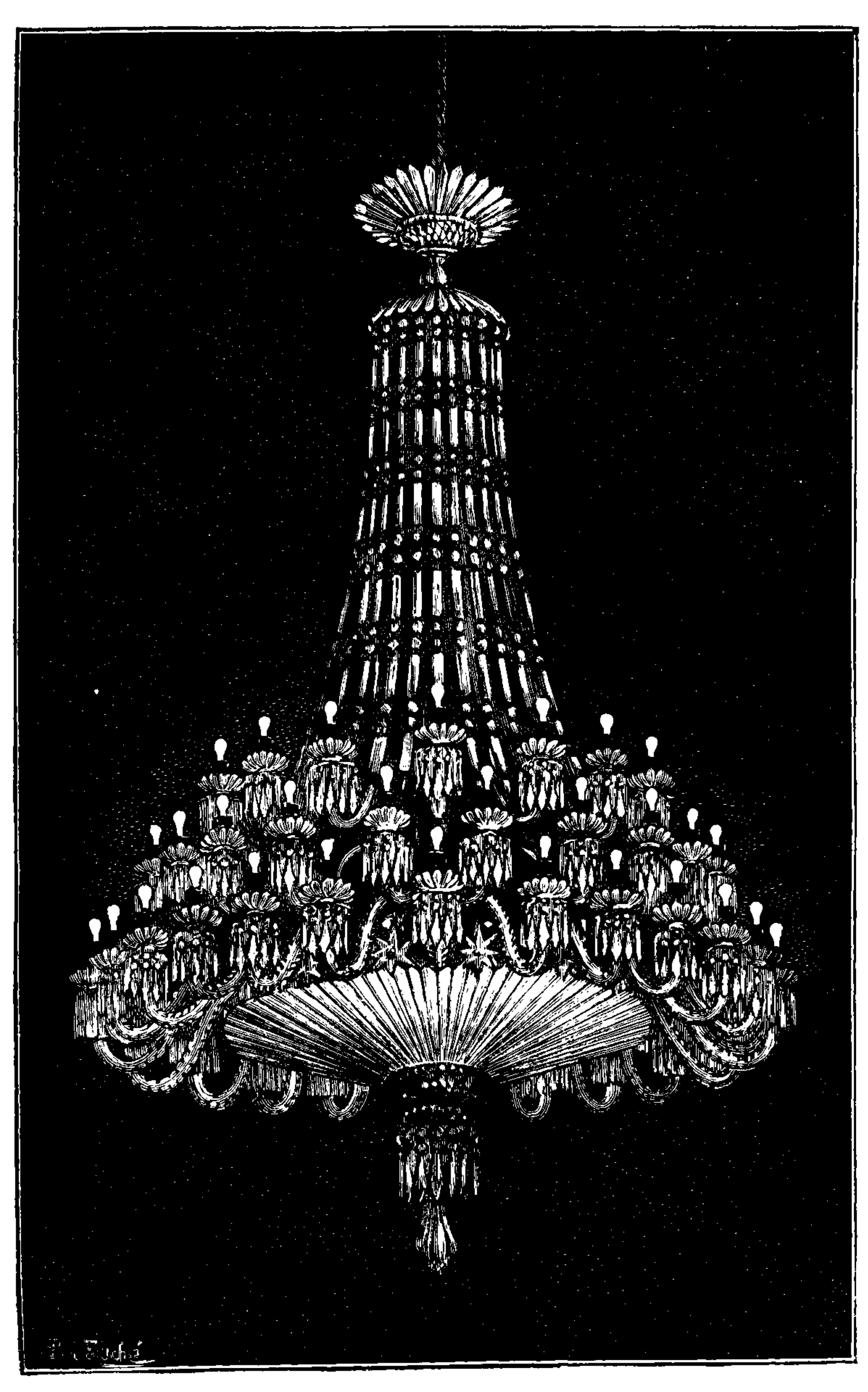


На фиг. 101 изображена столовая лампа, въ которой источникомъ свѣта служитъ лампочка Свана. Вращеніемъ рукоятки можно пропустить токъ черезъ лампу или прервать его и тѣмъ зажечь ее или потушить. На фиг. 102 изображена люстра, въ которой мѣсто свѣчей занято системою лампочекъ съ накаливаніемъ.

Мы видимъ, что существуютъ 3 системы электрическаго освѣщенія: регуляторы, свѣчи и лампы съ накаливаніемъ. Неоднократно былъ поднимаемъ вопросъ, приводившій къ напрасно ожесточеннымъ спорамъ, которая изъ этихъ системъ наиболѣе выгодна? Споръ этотъ совершенно праздный и въ настоящее время неразрѣшимый по двумъ причинамъ. Во первыхъ, такъ быстро слѣдуютъ одно за другимъ усовершенствованія на поприщѣ электрическаго освѣщенія, что недостатки, нынѣ замѣченные въ одной изъ указанныхъ нами системъ, завтра могутъ исчезнуть; и во вторыхъ—каждая изъ этихъ системъ имѣетъ свои преимущества и недостатки, и, смотря по тому, къ чему требуется освѣщеніе, мы будемъ одинъ изъ этихъ способовъ предпочитать другому. Такъ напр. относительно свѣчей указываютъ на тотъ недостатокъ, что для нихъ требуется перемѣнный токъ и что при горѣніи онѣ сопровождаются постоян-

нымъ гуломъ или шумомъ, но, съ другой стороны, безконечное преимущество ихъ передъ другими способами освѣщенія заключается въ чрезвы-

Фиг. 102.

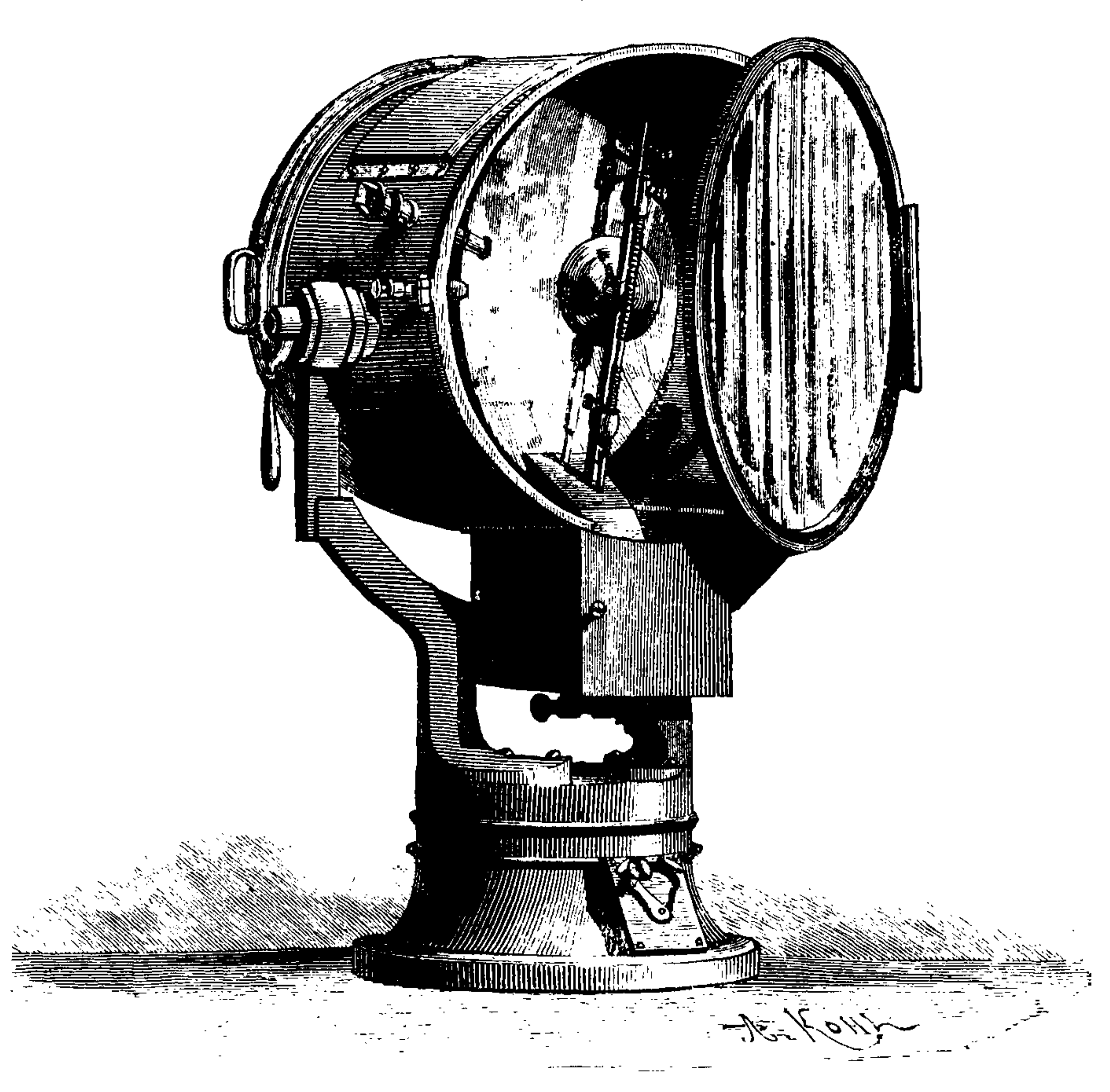


чайной ихъ простотѣ. Особенно у насъ въ Россіи слѣдовало бы оставить эти споры, такъ какъ русскимъ именамъ *Яблочкова*, *Ладыгина и Чико-*

лева, конечно, принадлежатъ наиболѣе почетныя мѣста въ исторіи развитія электрическаго освѣщенія.

Главнѣйшее примѣненіе получило электрическое освѣщеніе въ слѣдующихъ случаяхъ: при освѣщеніи маяковъ, судовъ, поѣздовъ желѣзныхъ дорогъ, на войнѣ при освѣщеніи непріятельскихъ позицій, на фабрикахъ, въ минахъ, при освѣщеніи улицъ, театровъ и магазиновъ, на сценѣ, для полученія опредѣленнаго рода эффектовъ; наконецъ, при

Фиг. 103.

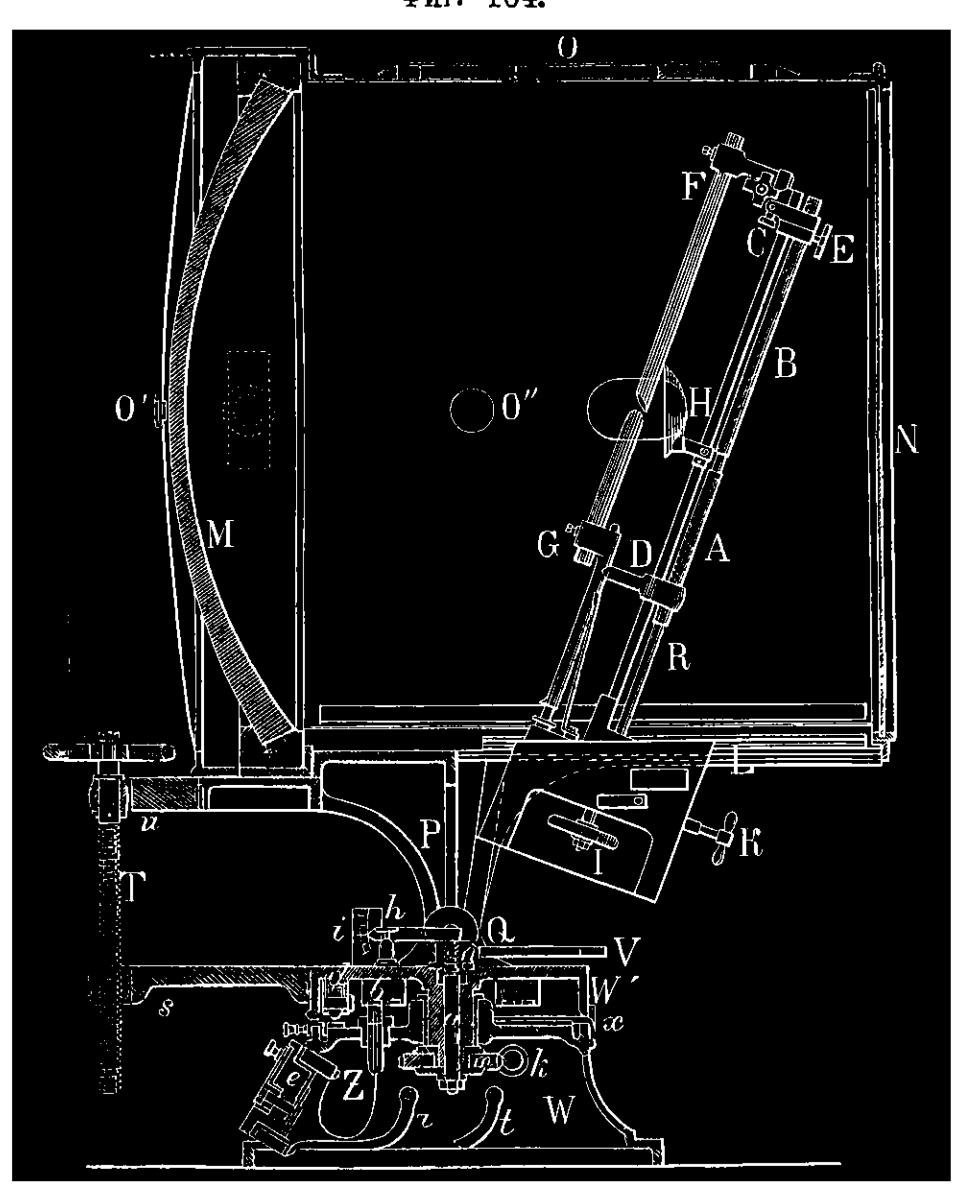


фотографированіи, независимо отъ присутствія солнечнаго свѣта, что̀ опять-таки у насъ въ Россіи однимъ изъ первыхъ было сдѣлано фотографомъ *Левицкимъ*.

Когда пользуются электрическимъ свѣтомъ на маякахъ или на войнѣ, то является необходимость полученія возможно параллельнаго, т. е. не расходящагося, пучка свѣта. Такой пучекъ нельзя получить, помѣщая свѣтящуюся точку въ фокусѣ сферическаго зеркала, такъ какъ

при этомъ, вслѣдствіе т. наз. сферической аберраціи отраженные лучи никогда не составятъ параллельнаго пучка. Изъ различныхъ приборовъ, которые служатъ для избѣжанія этого недостатка, укажемъ на фонарь и рефлекторъ Манжена (нынѣ вводится въ русскомъ флотѣ). Фонарь представленъ на фиг. 103 въ перспективѣ, а на фиг. 104 въ разрѣзѣ. Внутри цилиндрическаго фонаря помѣщенъ ручной регуляторъ, обращенный углями ко дну цилиндра; *H* зеркальце, отражающее также

Фиг. 104.



лучи ко дну, которое составлено рефлекторомъ. Этотъ рефлекторъ *M* состоитъ изъ стекляннаго сферическаго стекла, внутренняя поверхность котораго имѣетъ значительно бо́льшую кривизну, чѣмъ наружная (отношеніе радіусовъ 0,75). Лучи, падающіе на стекло, преломляются, входя въ стекло; отражаются отъ наружной поверхности стекла и, вновь преломившись, выходятъ обратно изъ стекла. Радіусы двухъ поверхностей стекла вычислены такимъ образомъ, чтобы выходящій, послѣ двухъ преломленій и одного отраженія, пучекъ свѣта былъ возможно параллеленъ оси цилиндрическаго фонаря. Дверцы *N* фонаря состоятъ изъ ряда стеклянныхъ полосъ (см. фиг. 103), которыя вдоль

средней линіи толще, чѣмъ по краямъ. Проходя черезъ эти стекла, пучекъ нѣсколько расширяется, но только по горизонтальному направленію.

Въ заключеніе упомянемъ о приложеніи нагрѣвательной способности электричества въ одной изъ отраслей медицины, *въ гальванокаустикѣ*. Это есть способъ прижиганія или вырѣзыванія помощью раскаленной гальваническимъ токомъ платиновой проволоки. Преимущество этого способа передъ способомъ операцій инструментомъ, раскаленнымъ на огнѣ, заключается въ томъ, что при употребленіи гальваническаго тока проволока во все время операціи остается раскаленною, ее во время операціи снимать не приходится; кромѣ того, кровотеченіе менѣе значительно, чѣмъ при иномъ способѣ операціи. Накаленная токомъ проволока можетъ служить для освѣщенія темныхъ полостей организма; въ 1879 году г. Труве освѣтилъ, напр., внутренности живой щуки.

Весьма важное діагностическое значеніе имѣетъ *діафаноскопъ* г. *Лазаревича*, профессора Харьковскаго университета, состоящій изъ стеклянной, цилиндрической трубки, внутри которой помѣщена вторая трубка, содержащая платиновую ленту въ $1/2$ линіи ширины. Между трубками протекаетъ непрерывная струя холодной воды. Вводя приборъ въ тѣло человѣка (чрезъ прямую кишку или маточный рукавъ), накаливаютъ сильнымъ токомъ платиновую ленту. Происходящее при этомъ просвѣчиваніе можетъ дать важные результаты для діагноза болѣзни. Заводъ Яблочкова въ Петербургѣ изготовляетъ въ настоящее время крошечныя лампочки различныхъ формъ для освѣщенія внутреннихъ полостей человѣка.

ЛЕКЦІЯ IX.

Химическія дѣйствія тока. Разложеніе воды и растворовъ солей. Вторичныя дѣйствія Гипотезы Гротгуза и Клаузіуса. Гальваническая поляризація. Гальванопластика. *Гальваническіе элементы.* Элементы: швейцарскій, Сми, Даніеля, Трувé, Минотто, Калло, Калло-Трувé, Убичини, Крюгера, Мейдингера, Мари Деви, Бофиса, Варренъ дела-Рю, Грове, Бунзена, Лекланше, Поггендорфа, Дюкретé, Фуллера, Пюддо, Гренé. Вторичные элементы Плантé, Фора и завода Яблочкова

Химическія дѣйствія тока.

Прежде чѣмъ разсмотрѣть химическія дѣйствія тока, необходимо вкратцѣ напомнить нѣкоторые элементарные факты изъ химіи. Всѣмъ извѣстно, что вода есть химическое соединеніе двухъ газообразныхъ элементовъ, т. е. простыхъ, не разлагаемыхъ тѣлъ; она состоитъ изъ

двухъ объемовъ водорода и одного—кислорода. Цѣлый рядъ соединеній тѣлъ, въ особенности металловъ съ кислородомъ, называются окислами. Между ними соединенія, содержащія много кислорода, иногда называются перекисями. Изъ нихъ важны для насъ перекись марганца и перекись свинца. Рядъ особаго рода тѣлъ, содержащихъ водородъ, называются кислотами. Если въ кислотахъ водородъ замѣщается какимъ нибудь металломъ, то получается вещество, которое вообще называется солью, и наоборотъ, во всякой соли есть металлъ, или вещество, имѣющее химическія свойства металловъ; если его замѣнить водородомъ, то получится вновь кислота. Такъ напр., если въ сѣрной кислотѣ, содержащей, кромѣ водорода, еще сѣру и кислородъ, замѣнить водородъ мѣдью, то получится соль: мѣдный купоросъ; если замѣнить водородъ желѣзомъ или цинкомъ, то получатся желѣзный или цинковый купоросы. Если, наоборотъ, въ мѣдномъ купоросѣ мѣдь замѣнить водородомъ, то получится вновь сѣрная кислота. Если въ сѣрной кислотѣ водородъ замѣстить натріемъ, то образуется сѣрнонатровая (глауберова) соль.

Изъ другихъ кислотъ замѣтимъ азотную кислоту, содержащую, кромѣ водорода, азотъ и кислородъ, и соляную кислоту, соединеніе хлора и водорода. Если въ азотной кислотѣ водородъ замѣщенъ серебромъ, то получается азотносеребрянная соль (lapis); если въ соляной кислотѣ водородъ замѣщенъ натріемъ, то получается хлористый натрій, т. е. поваренная соль, а если аммоніемъ (сложное, отдѣльно неполучаемое вещество, содержащее азотъ и водородъ), то будемъ имѣть нашатырь. Замѣтимъ еще хромовую кислоту, содержащую, кромѣ водорода, металлъ хромъ и кислородъ; замѣстивъ въ ней водородъ металломъ каліемъ, получимъ хромовокаліевую соль (краснаго цвѣта). Если въ водѣ водородъ будетъ замѣщенъ однимъ изъ металловъ, каковы напр. калій и натрій, то получатся вещества, которыя называются щелочами.

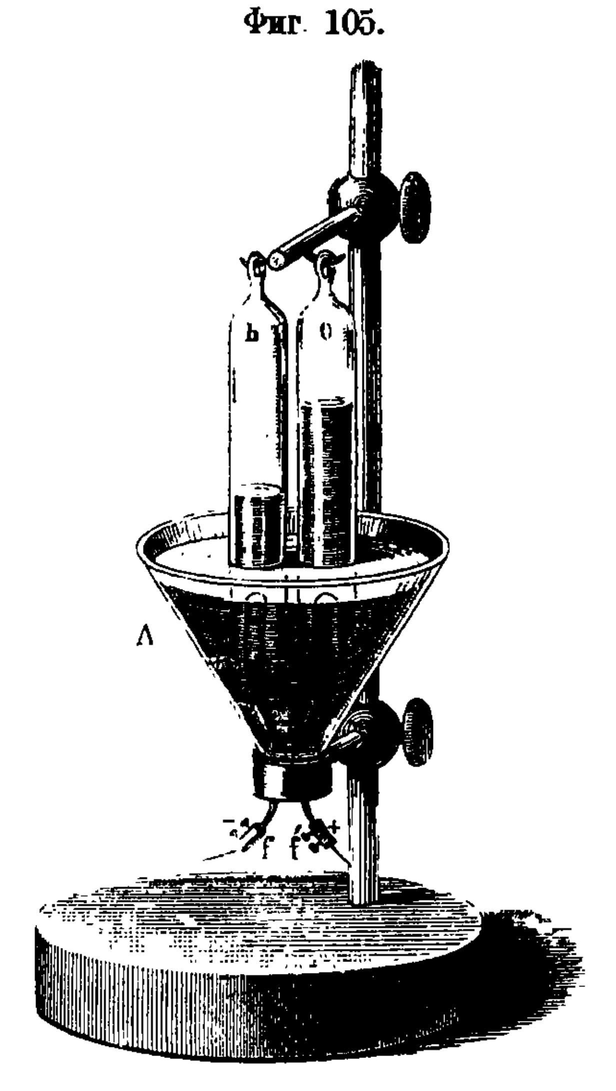
Большинство металловъ легко окисляется, т. е. соединяется съ кислородомъ; исключеніе составляютъ, между прочимъ, золото и платина. Существуютъ тѣла «окислители», богатыя кислородомъ, легко отдающія часть его другимъ тѣламъ, которыя при этомъ окисляются. Къ такимъ окислителямъ принадлежатъ азотная кислота, перекись марганца, хромовокаліевая соль. Въ присутствіи этихъ тѣлъ изъ водорода легко образуется вода.

Химическое дѣйствіе электрическаго тока было открыто въ 1800 г. *Никольсономъ* и *Карлиломъ* (Nicholson, Karlisle). Пропустивъ случайно токъ черезъ каплю воды, они замѣтили въ ней обильное образованіе газовыхъ пузырьковъ, состоявшихъ, какъ оказалось, изъ кислорода и водорода. Чтобъ разложить воду, берутъ электроды изъ пластинокъ платины, погружаютъ въ подкисленную воду, которая проводитъ лучше чистой воды (прибавляютъ къ водѣ до 10% сѣрной кислоты) и пропускаютъ токъ. Тогда вода разлагается; при этомъ на отрицательномъ

электродѣ появляется водородъ, на положительномъ — кислородъ, (см. фиг. 105).

Оба газа появляются непосредственно на самихъ электродахъ; столбъ воды, находящійся между ними, повидимому, остается безъ всякаго измѣненія и это останется вѣрнымъ, какъ бы далеко другъ отъ друга ни находились электроды.

Вещества, которыя разлагаются токомъ, называются *электролитами*, самое разложеніе—*электролизомъ*. Получающіяся при разложеніи новыя тѣла иногда называются *іонами*, появляющееся на катодѣ—*катіономъ*, на анодѣ—*аніономъ*.


Фиг. 105.

Не всегда явленіе электролиза представляется столь простымъ, какъ въ случаѣ разложенія воды между платиновыми электродами, гдѣ составныя части воды непосредственно получаются на электродахъ, какъ результатъ химическаго дѣйствія тока. Весьма часто явленіе усложняется, первоначальное дѣйствіе тока маскируется такъ называемыми вторичными дѣйствіями. Вещество, которое отъ дѣйствія тока должно выдѣлиться на электродѣ, во первыхъ, иногда химически дѣйствуетъ на то вещество, изъ котораго состоитъ электродъ, во вторыхъ, оно иногда химически дѣйствуетъ на самое разлагаемое вещество, или на то тѣло, въ которомъ это вещество растворено.

Если бы мы взяли, вмѣсто двухъ платиновыхъ электродовъ, платиновый и мѣдный и если кислородъ будетъ выдѣляться на платинѣ, а водородъ на мѣди, то оба эти газа безъ измѣненія и появятся на этихъ электродахъ. Если же мы пропустимъ токъ въ такомъ направленіи, что водородъ появится на платинѣ, а на мѣди долженъ былъ бы выдѣляться кислородъ, то окажется, что послѣдній вовсе не появится. Въ этомъ случаѣ происходитъ вторичное химическое дѣйствіе, независящее уже отъ тока: подкисленная вода содержитъ въ себѣ сѣрную кислоту; кислородъ, вмѣсто того, чтобы выдѣлиться на мѣди, соединится съ водородомъ сѣрной кислоты, такъ что вновь образуется вода, а на мѣсто уходящаго водорода въ кислотѣ станетъ мѣдь, изъ которой состоитъ электродъ, такъ что образуется мѣдный купоросъ.

Явленіе химическаго разложенія можетъ еще усложниться тѣмъ, что одинъ изъ получаемыхъ газовъ растворяется въ самой жидкости.

Если отрицательный электродъ будетъ состоять изъ металла палладія, то водородъ вовсе не будетъ появляться, вслѣдствіе того, что палладій имѣетъ свойство поглощать водородъ, какъ бы растворять его въ себѣ.

Если мы вмѣсто подкисленной воды возьмемъ растворъ мѣднаго купороса и будемъ разлагать его между платиновыми электродами, то на отрицательномъ электродѣ будетъ появляться мѣдь, а всѣ остальныя части мѣднаго купороса, сѣра и кислородъ, должны были бы выдѣляться на положительномъ. Но такое вещество само по себѣ не можетъ существовать: изъ воды будетъ къ этому тѣлу присоединяться водородъ, замѣняющій мѣдь, такъ что образуется сѣрная кислота, а кислородъ воды будетъ выдѣляться. Слѣдовательно, въ результатѣ, на одномъ электродѣ будетъ появляться мѣдь, а на другомъ—кислородъ. Если же электроды взять не платиновые, а напр. мѣдные, то на одномъ электродѣ будетъ осаждаться мѣдь, а на другомъ къ оставшейся группѣ (сѣра и кислородъ) будетъ присоединяться мѣдь другаго электрода, такъ что образуется новый мѣдный купоросъ, т. е. на одномъ электродѣ будетъ осаждаться мѣдь, а мѣдь другаго будетъ растворяться. Если же электроды будутъ цинковые, то къ упомянутой группѣ присоединится цинкъ одного изъ электродовъ, такъ, что вмѣсто разложившагося мѣднаго купороса образуется цинковый купоросъ.

Возьмемъ хлористый натрій (поваренная соль); если мы растворъ его станемъ электролизовать, то на катодѣ металлъ натрій тотчасъ же вытѣснитъ водородъ воды, вслѣдствіе чего образуется щелочь и вмѣсто металла натрія выдѣлится водородъ; на анодѣ появится газообразный хлоръ, но и то только въ томъ случаѣ, если электродъ угольный; если же онъ напр. мѣдный, то хлоръ будетъ соединяться съ веществомъ самаго электрода, такъ что образуется хлористая мѣдь. Итакъ, вмѣсто натрія и хлора являются, вслѣдствіе вторичныхъ дѣйствій, щелочь и хлористая мѣдь.

Если между двумя платиновыми проволоками электролизовать растворъ хлористаго олова, то на одномъ электродѣ будетъ выдѣляться хлоръ, а на другомъ олово, вслѣдствіе чего платиновая проволока будетъ быстро утолщаться. Если черезъ нѣкоторое время измѣнить направленіе тока, то хлоръ начнетъ выдѣляться на проволокѣ, покрытой оловомъ, съ которымъ соединится, такъ что вновь образуется хлористое олово и проволока столь же быстро начнетъ утончаться.

Если взять растворъ сѣрнонатровой соли и электролизовать его, то на одномъ электродѣ долженъ былъ бы появиться металлъ натрій, а на другомъ — вышеупомянутыя части сѣрной кислоты (сѣра и кислородъ), которыя остаются, если отъ нея отнять водородъ. Но металлъ натрій тотчасъ же изъ воды вытѣсняетъ водородъ, причемъ образуется щелочь; а съ другой стороны, т. е. у другаго электрода, къ упомянутой группѣ

присоединяется водородъ воды, образуется сѣрная кислота и выдѣляется кислородъ. Итакъ, вмѣсто того, чтобы явился натрій и остальныя части сѣрной кислоты, появятся на электродахъ водородъ и кислородъ и, кромѣ того, въ растворѣ образуются щелочь и кислота. Что иногда вторичныя явленія должны быть очень сложны, показываютъ изслѣдованія *Р. Ленца*, обнаружившія, что осажденное желѣзо содержитъ въ себѣ водородъ, окись углерода и нѣкоторыя другія вещества, присутствіе которыхъ a priori нельзя было предполагать.

Если хлористый магній расплавить и пропустить чрезъ него токъ, то на катодѣ получится металлическій магній. Это одинъ изъ способовъ добыванія этого металла.

Въ явленіяхъ электролиза особенно загадочнымъ представляется то обстоятельство, что составныя части электролита, іоны, появляются только на электродахъ, находящихся на большомъ другъ отъ друга разстояніи, что, напр. при электролизѣ подкисленной воды, на одномъ электродѣ появляется только водородъ, а на другомъ—только кислородъ. По теоріи *Гротгуса* (1805 г.), это явленіе объясняется слѣдующимъ образомъ. Между электродами представимъ себѣ рядъ частичекъ воды, изъ которыхъ каждая состоитъ изъ одного атома кислорода и двухъ атомовъ водорода. При пропусканіи тока всѣ частицы располагаются такъ, что атомы кислорода обращаются къ аноду, атомы кислорода къ катоду и затѣмъ всѣ одновременно разлагаются, причемъ атомъ кислорода первой частицы выдѣляется на анодѣ и два атома водорода послѣдней частицы выдѣляются на катодѣ, а средніе атомы тотчасъ же вновь между собою соединяются, е. т. два атома водорода первой частицы соединяются съ атомомъ кислорода второй частицы; два атома водорода второй частицы съ атомомъ кислорода третьей и т. д., такъ что вездѣ вновь образуется вода; частицы образовавшейся такимъ образомъ воды снова располагаются, если можно такъ выразиться, водородною стороною къ катоду, кислородною къ аноду; онѣ какъ будто переворачиваются и затѣмъ вновь происходитъ разложеніе всѣхъ частицъ, выдѣленіе атома кислорода на анодѣ и двухъ атомовъ водорода на катодѣ, а между атомами, остающимися свободными, снова происходитъ соединеніе и образованіе частицъ воды, которыя переворачиваются, вновь разлагаются и т. д.

Совершенно иначе объяснилъ явленіе электролиза *Клаузіусъ* (1857 г.). По его мнѣнію, мы должны разсматривать частицы жидкости, какъ находящіяся въ состояніи такъ называемаго *подвижнаго равновѣсія*. Сущность его заключается въ томъ, что вода не состоитъ исключительно только изъ частицъ совершенно опредѣленнаго и постояннаго соединенія водорода и кислорода, а что внутри воды происходятъ непрерывныя разложеніе и соединеніе, т. е. что внутри воды, кромѣ, конечно, безчисленно громаднаго избытка частицъ воды, т. е. соединенія водорода и кислорода, существуетъ и значительное число свободныхъ частицъ какъ

водорода, такъ и кислорода. Эти частицы имѣютъ всевозможныя поступательныя движенія и поминутно между ними въ однихъ мѣстахъ происходитъ соединеніе, когда въ другихъ частицы воды разлагаются и являются новыя свободныя частицы водорода и кислорода. Такимъ образомъ мы должны представить себѣ движеніе свободныхъ кислородныхъ и водородныхъ частицъ по всѣмъ направленіямъ. Если пропускается токъ, то направленія ихъ движеній дѣлаются болѣе однообразными, т. е. всѣ свободныя водородныя частицы получаютъ преимущественно направленіе движенія къ катоду, всѣ частицы кислорода получаютъ преимущественно противоположное направленіе движенія, вслѣдствіе чего струя водородныхъ частицъ приходитъ къ катоду, струя же кислородныхъ частицъ—къ аноду. Такимъ образомъ, по этой теоріи, дѣйствіе тока не будетъ заключаться въ разложеніи воды на составныя части, а скорѣе въ измѣненіи направленія движенія уже безъ того свободныхъ частицъ.

Если пропустить токъ черезъ подкисленную воду, то замѣчается весьма важное явленіе, называемое *поляризаціею*. Положимъ, что взяты два платиновыхъ электрода, совершенно одинаковыхъ, такъ что если бы ихъ погрузить рядомъ въ сосудъ съ подкисленною водою и затѣмъ соединить ихъ съ гальванометромъ, то отъ нихъ никакого замѣтнаго тока не получилось бы. Но если чрезъ такой сосудъ нѣкоторое время проходилъ токъ, такъ что на одномъ изъ платиновыхъ электродовъ выдѣлился слой кислорода, на другомъ – слой водорода, то самый сосудъ, въ которомъ происходило разложеніе воды, превратится какъ бы въ. гальваническій элементъ, и если, прекративъ проходящій черезъ воду токъ, быстро соединить электроды съ гальванометромъ, то получится сильное отклоненіе стрѣлки, т. е. въ самомъ сосудѣ, въ которомъ происходило разложеніе воды, явилась электровозбудительная сила. Источникъ этой силы слѣдуетъ искать въ томъ, что двѣ платиновыя пластинки, изъ которыхъ одна покрыта слоемъ кислорода, другая слоемъ водорода, представляются въ гальваническомъ отношеніи какъ бы двумя различными пластинками, способными дать сильный токъ.

Электровозбудительная сила, появляющаяся въ разсматриваемомъ сосудѣ, имѣетъ направленіе, обратное направленію электровозбудительной силы, дѣйствующей извнѣ; поэтому токъ, проходящій чрезъ сосудъ, въ которомъ происходитъ разложеніе воды, черезъ короткое время, чрезвычайно ослабѣваетъ. Разсматриваемое явленіе называется *гальваническою поляризаціею*. Если сосудъ съ поляризованными электродами заставить давать токъ, то въ немъ произойдетъ разложеніе воды въ обратномъ направленіи; тамъ, гдѣ есть кислородъ, появится водородъ, тамъ, гдѣ есть водородъ—кислородъ; они между собою соединяются и черезъ короткій промежутокъ времени сосудъ перестанетъ содержать въ себѣ источ-

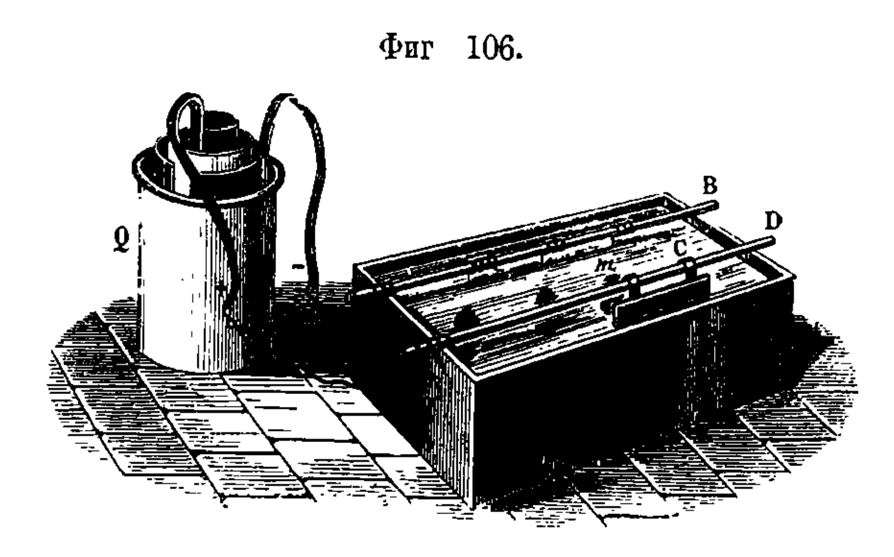
никъ электровозбудительной силы и дѣйствовать какъ элементъ. При сильномъ сотрясеніи, а также при нагрѣваніи, уменьшается поляризація.

Весьма сильная поляризація замѣчается, если взять свинцовые электроды; свинецъ, служащій анодомъ, при этомъ окисляется. Въ результатѣ получаются двѣ совершенно различныя пластинки, способныя дать сильный токъ, направленія обратнаго направленію тока дѣйствующаго. Поляризація можетъ произойти не только при разложеніи воды на водородъ и кислородъ, но вообще при всякомъ электролизѣ, когда такія вещества осаждаются на электродахъ, которыя дѣлаютъ ихъ неодинаковыми.

Не трудно подобрать и случаи электролиза безъ поляризаціи; примѣромъ можетъ служить разложеніе раствора мѣднаго купороса между мѣдными электродами. Мы видѣли, что въ этомъ случаѣ на одномъ электродѣ осаждается мѣдь, между тѣмъ, какъ другой растворяется, причемъ образуется новый купоросъ. Поверхности электродовъ остаются чистыми и, слѣдовательно, никакой поляризаціи быть не можетъ.

Ограничимся весьма немногими словами относительно *гальванопластики*, которая была открыта одновременно *Якоби* въ Петербургѣ и *Спенсеромъ* въ Англіи. Гальванопластика старается разрѣшить двѣ задачи: 1) покрыть опредѣленное вещество слоемъ опредѣленнаго металла и 2) отъ опредѣленнаго тѣла снять точную копію или слѣпокъ. Въ первомъ случаѣ мы должны взять сосудъ, въ которомъ находился бы растворъ вещества (фиг. 106), выдѣляющій при прохожденіи тока тотъ металлъ, которымъ мы желаемъ покрыть тѣло, а это тѣло мы должны взять за отрицательный электродъ. Какія требуется брать жидкости для того, чтобы осаждались требуемые металлы: серебро, мѣдь, желѣзо, никкель и проч.—это вопросъ чисто техническій, составляющій отчасти даже тайну производителей. Если данное тѣло непроводникъ, то его покрываютъ слоемъ графита. Другая задача, полученіе точныхъ слѣпокъ,—напр. отъ монеты,—разрѣшается примѣрно слѣдующимъ образомъ: монету прикрѣпляютъ къ катоду и покрываютъ непроводящимъ веществомъ, напр. воскомъ, исключая той стороны, съ которой требуется получить слѣпокъ и которую натираютъ графитомъ. Послѣ продолжительнаго пропусканія тока черезъ растворъ, выдѣляющій тотъ металлъ, изъ котораго желаютъ получить слѣпокъ, снимаютъ осадившійся на монетѣ слой металла. На немъ оказывается

Фиг 106.



точный слѣпокъ монеты. Вмѣсто этого можно устроить матрицы изъ гипса, гуттаперчи, стеарина и проч., смѣшанныхъ съ графитомъ или покрытыхъ графитомъ; эти матрицы могутъ затѣмъ служить для полученія съ нихъ слѣпковъ путемъ осажденія на нихъ металла.

О гальваническихъ элементахъ.

Мы отложили разсмотрѣніе разнаго рода гальваническихъ элементовъ, такъ какъ для пониманія происходящихъ въ нихъ реакцій необходимо знать о химическихъ дѣйствіяхъ тока *).

Во всякомъ элементѣ происходитъ химическая реакція, служащая источникомъ той энергіи, которая проявляется въ цѣпи. Весьма важно замѣтить, что реакція, которая происходитъ внутри элемента, будетъ какъ разъ та, которая бы возбудилась въ элементѣ, если бы снаружи какой нибудь другой источникъ пропускалъ черезъ него токъ, который этотъ элементъ самъ возбуждаетъ. При этомъ положительный полюсъ элемента, напр. мѣдь, будетъ играть роль катода, такъ что на немъ будетъ выдѣляться водородъ или металлъ, а отрицательный полюсъ, цинкъ, роль анода. Это понятно, такъ какъ черезъ мѣдь вступаетъ въ элементъ отрицательное, черезъ цинкъ — положительное электричества. На стр. 73 и 74 было говорено о томъ, какъ это раствореніе цинка служитъ источникомъ тепловой энергіи, проявляющейся вдоль всей цѣпи. Такъ, въ простѣйшемъ элементѣ съ одною жидкостью, состоящемъ изъ сосуда съ подкисленною водою, въ которую погружены пластинки изъ платины и цинка, происходитъ разложеніе сѣрной кислоты такимъ образомъ, что на платинѣ выдѣляется водородъ, остальная часть кислоты выдѣляется у цинка и тотчасъ же поглощаетъ цинкъ, такъ что образуется цинковый купоросъ. Водородъ, который выдѣляется на платинѣ, даетъ сильную поляризацію, такъ что элементъ весьма быстро ослабѣваетъ.

Дѣйствіе почти всѣхъ элементовъ, содержащихъ цинкъ, можно усилить и сдѣлать болѣе правильнымъ, если цинкъ амальгамировать, т. е. покрыть тонкимъ слоемъ ртути. Тогда при разомкнутой цѣпи почти не происходитъ растворенія цинка, что весьма важно въ экономическомъ отношеніи.

Идеальнымъ можно считать такой элементъ, который удовлетворяетъ слѣдующимъ требованіямъ:

1) электровозбудительная сила должна быть возможно велика;
2) внутреннее сопротивленіе должно быть возможно мало;

---

*) Подробности и чертежи въ этой статьѣ заимствованы отчасти изъ сочиненія г. Писаревскаго «Гальваническіе элементы, употребляемые въ телеграфной практикѣ».

3) электровозбудительная сила должна быть постоянная, т. е. она не должна мѣняться во время дѣйствія элемента, иначе говоря, поляризаціи не должно быть;

4) элементъ долженъ быть дешевый;

5) когда цѣпь не замкнута, въ элементѣ не должно происходить никакихъ реакцій для того, чтобы не расходовались непроизводительно матеріалы; наконецъ

6) элементъ долженъ быть удобно устроенъ, такъ чтобы безъ труда можно было узнать, въ порядкѣ ли онъ.

Ни одинъ изъ существующихъ элементовъ не удовлетворяетъ всѣмъ выше упомянутымъ шести условіямъ: кажется, наибольшему числу условій удовлетворяетъ элементъ Лекланше

Водородъ, который въ большинствѣ элементовъ выдѣляется на положительномъ полюсѣ, на мѣди, платинѣ и т. д., *производитъ поляризацію и главная забота при устройствѣ элемента* должна быть направлена къ тому, чтобы ее уничтожить.

За положительный полюсъ вмѣсто платины или мѣди иногда берется твердый, особеннымъ образомъ приготовленный, уголь (по предложенію *Валкера* 1849 г.); этимъ, между прочимъ, достигается уменьшеніе поляризаціи. такъ какъ на шероховатой, пористой поверхности угля водородъ, повидимому, не легко держится и не скоро ее всю покрываетъ.

Изъ *элементовъ съ одною жидкостью* разсмотримъ немногіе.

Слабая поляризація оказывается въ элементѣ, который употребляется въ Швейцаріи; онъ состоитъ изъ цинка и угля въ растворѣ поваренной соли; поляризація въ немъ есть, но она исчезаетъ очень быстро, послѣ размыканія тока.

Въ швейцарскихъ элементахъ угли имѣютъ форму пустыхъ цилиндровъ, внутри которыхъ виситъ на деревянной перекладинѣ цинковая пластинка. Десять паръ угля и цинка прикрѣпляются къ двумъ доскамъ, которыя вращеніемъ рукоятки могутъ быть приподняты наверхъ, когда батарея не дѣйствуетъ. Къ раствору поваренной соли прибавляютъ иногда нашатырь, квасцы или сѣрную кислоту въ разныхъ пропорціяхъ.

Для уменьшенія поляризаціи въ элементахъ цинкъ — платина — слабая сѣрная кислота, *Сми* предложилъ платину покрывать слоемъ губчатой платины, замѣтивъ, что на губчатой платинѣ плохо пристаютъ пузырьки водорода.

Для возможно полнаго уничтоженія поляризаціи необходимо положительный полюсъ (*мѣдь, платину, уголь*) *окружить веществомъ, которое бы поглощало водородъ.* Если «*деполяризирующее*» вещество, служащее для поглощенія водорода, будетъ жидкость, то придется окружить положительный полюсъ особымъ пористымъ сосудомъ,

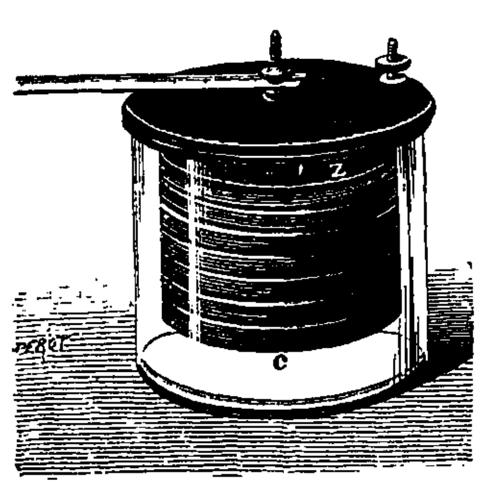
въ которомъ деполяризирующая жидкость будетъ заключаться. Чтобы отдѣлить двѣ жидкости другъ отъ друга, можно болѣе тяжелую изъ нихъ помѣщать въ сосудѣ внизу, а болѣе легкую наливать осторожно сверху, такъ чтобы онѣ не смѣшивались. Тогда не нужно отдѣляющаго пористаго сосуда, который обыкновенно дѣлается изъ пористой необожженой глины, пергамента или пузыря.

Разсмотримъ по порядку разныя вещества, могущія служить деполяризаторами.

1. *Элементы, въ которыхъ, для уничтоженія водорода, положительный полюсъ окруженъ растворомъ какой нибудь соли.*

Водородъ, выдѣляющійся на положительномъ полюсѣ, разлагаетъ соль; выдѣляется изъ нея металлъ, на мѣсто котораго поступаетъ водородъ, такъ что будетъ образовываться кислота и выдѣляться металлъ. Типомъ элементовъ съ такимъ устройствомъ является элементъ *Даніеля* (изобрѣтенъ въ 1836 г.), который уже былъ описанъ нами на стр. 85, фиг. 58. Поперечное сѣченіе цинковаго стержня (Z) нерѣдко дѣлается въ видѣ креста, вслѣдствіе чего поверхность увеличивается. Химическая реакція въ элементѣ Даніеля понятна изъ предъидущаго. Водородъ сѣрной кислоты, являясь у мѣди, вытѣсняетъ мѣдь изъ мѣднаго купороса, такъ что вновь образуется сѣрная кислота и осаждается мѣдь; остальныя части сѣрной кислоты, являясь у цинка, соединяются съ нимъ, образуя цинковый купоросъ. Очевидно, что мѣдь, являющаяся на положительномъ полюсѣ, вмѣсто водорода, не мѣняетъ его свойства, чѣмъ и обусловливается уничтоженіе поляризаціи.

Фиг. 107.



Такъ какъ при дѣйствіи элемента мѣдный купоросъ разлагается, необходимо насыпать нѣкоторое количество купороса въ его растворъ, который такимъ образомъ непрерывно остается насыщеннымъ.

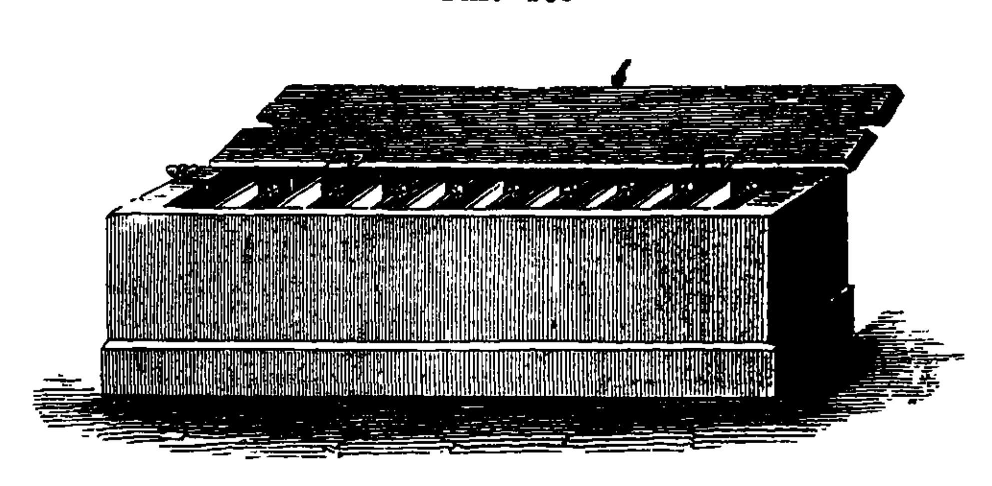
Видоизмѣненіе элемента Даніеля представляетъ замѣчательный сырой элементъ (pile humide) *Труве*, который представленъ на фиг. 107; онъ состоитъ изъ нижней мѣдной пластинки C и верхней цинковой Z; между ними имѣется рядъ листовъ пропускной бумаги, изъ которыхъ нижніе пропитаны растворомъ мѣднаго купороса, а верхніе— растворомъ цинковаго купороса. Элементъ этотъ стоитъ только облить чистою водою, т. е. сдѣлать сырымъ, чтобы онъ началъ дѣйствовать.

Разсмотримъ нѣкоторыя изъ весьма многочисленныхъ видоизмѣне-

ній элемента Даніеля, начиная съ тѣхъ, въ которыхъ сохранена пористая перегородка.

Въ Англіи употребляется батарея элементовъ Даніеля, изображенная на фиг. 108. Ящикъ, раздѣленный попеременно скважистыми (изъ фарфора) и нескважистыми (изъ сланца) перегородками на рядъ отдѣ-

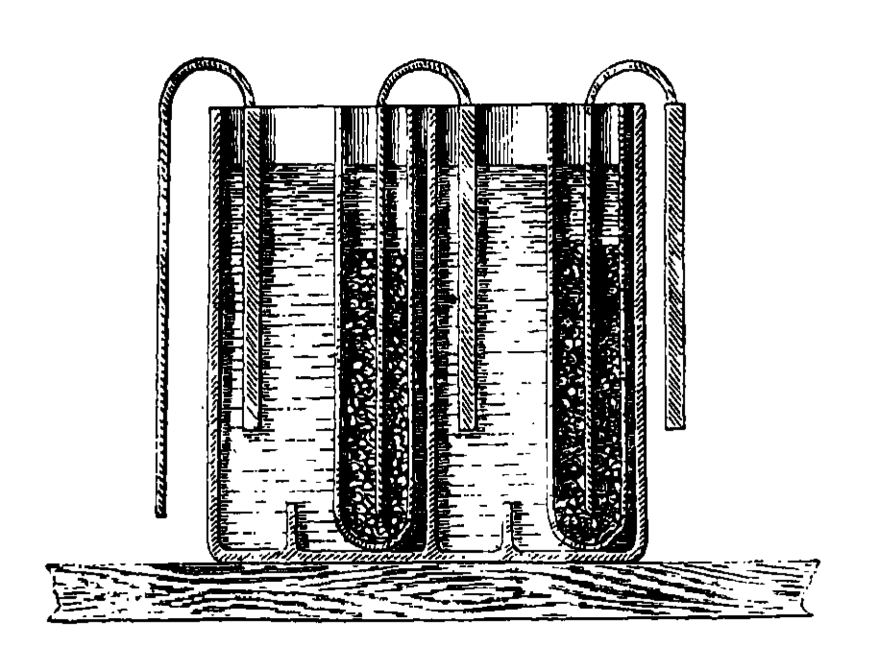
Фиг. 108.



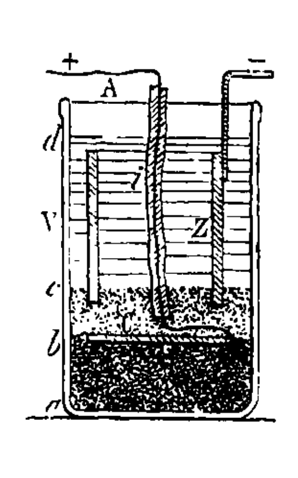
леній, заключающихъ въ себѣ попеременно цинкъ въ слабой сѣрной кислотѣ и мѣдь въ растворѣ мѣднаго купороса съ избыткомъ кристалловъ.

Нѣсколько иначе устроенное отдѣленіе подобнаго же ящика изображено въ разрѣзѣ на фиг. 109. Каждое такое отдѣленіе состоитъ изъ четыреугольнаго сосуда изъ глазированнаго фарфора съ такою же перегородкою, такъ что образуются два элемента. Въ каждый изъ нихъ

Фиг. 109.



Фиг. 110.



вставляется узенькій, продолговатый пористый сосудъ изъ красной глины для мѣди и мѣднаго купороса.

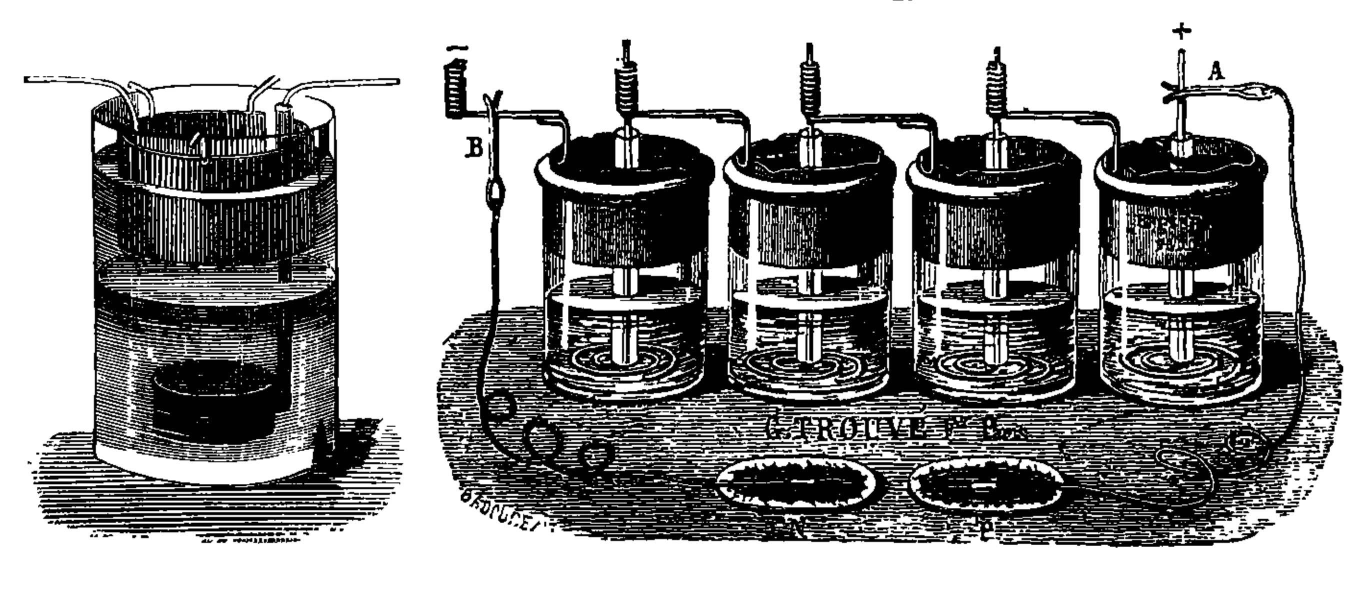
Въ элементѣ *Минотто* (фиг. 110), пористый сосудъ замѣненъ слоемъ песку. На дно стакана кладется мѣдная пластинка *c*, къ которой припаяна изолированная гуттаперчею проволока: на нее насыпаютъ

кристаллы мѣднаго купороса, затѣмъ слой песку и, наконецъ, сверху ставятъ цинковый цилиндръ Z. Потомъ осторожно наливается вода.

Переходимъ къ элементамъ Даніеля безъ пористаго сосуда. Одновременно *Калло* во Франціи, *Мейдингеръ* въ Германіи и *Варлей* въ Англіи устроили элементы, въ которыхъ жидкость, окружающая цинкъ, помѣщается непосредственно надъ растворомъ мѣднаго купороса, который, вслѣдствіе бóльшей плотности, остается внизу.

Элементъ *Калло* чрезвычайно распространенъ во Франціи, въ особенности въ телеграфной службѣ. Онъ состоитъ (фиг. 111) изъ стекляннаго сосуда, въ который снизу наливается растворъ мѣднаго купо-

Фиг. 111. Фиг. 112.



роса, а сверху, осторожно, подкисленная вода. Внизу надъ серединою дна помѣщается мѣдное кольцо, отъ котораго идетъ изолированная проволока; сверху на трехъ крючкахъ виситъ цинковое кольцо, отъ котораго идетъ отрицательный электродъ. Расходы при дѣйствіи этого элемента равняются 20 сантимамъ въ мѣсяцъ.

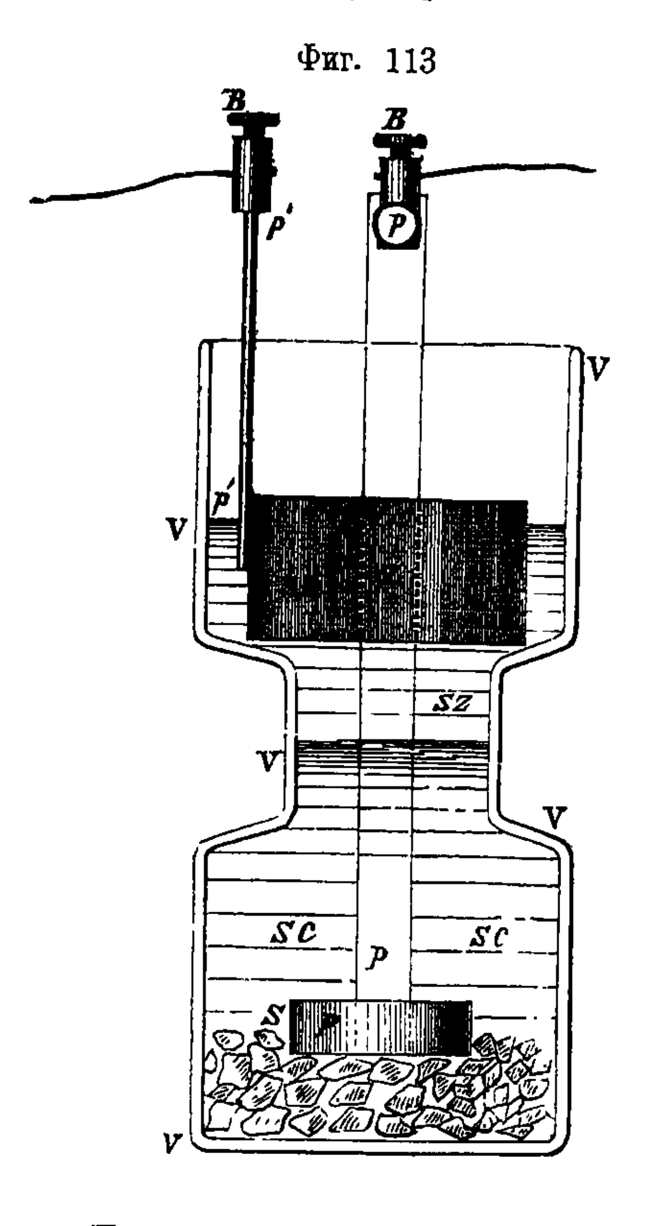
Труве упростилъ элементъ Калло, замѣнивъ мѣдное кольцо спирально согнутою мѣдною проволокою, вертикальная часть которой окружена стеклянною трубкою. На фиг. 112 изображена батарея изъ четырехъ элементовъ Труве-Калло, приспособленная для медицинскихъ цѣлей.

Для устраненія недостатковъ элемента Калло, заключающихся въ томъ, что на поверхности раздѣла двухъ жидкостей легко можетъ произойти ихъ смѣшеніе и что мѣдная проволока, припаянная къ мѣди, даже при тщательной изолировкѣ быстро уничтожается, *Убичини* уменьшилъ поверхность соприкасанія жидкостей, сдѣлавъ сосудъ V (фиг. 113), съ перехватомъ по серединѣ и припаявъ къ нижнему мѣдному кольцу свинцовый стержень pp, окисляющійся значительно меньше мѣди.

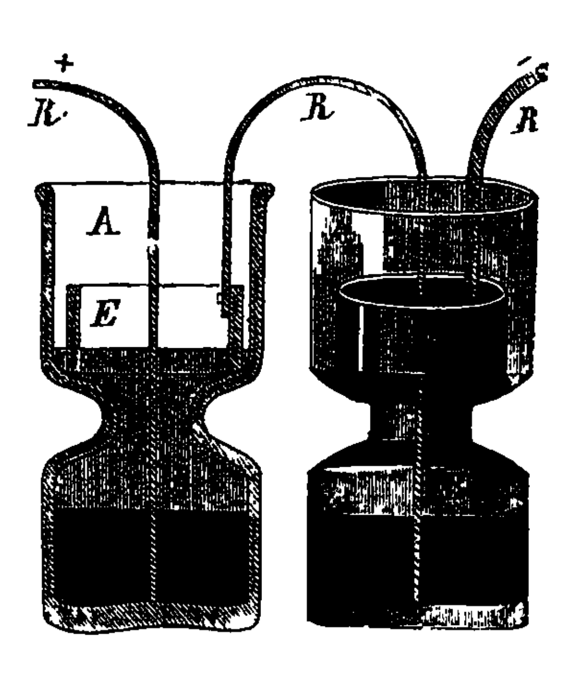
Два элемента похожаго устройства представлены на фиг. 114, изъ нихъ лѣвый въ разрѣзѣ.

Другое видоизмѣненіе элемента Калло представляетъ элементъ *Крюгера*, весьма распространенный въ Германіи. Цинковый цилиндръ ви-

Фиг. 113



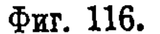
Фиг. 114.

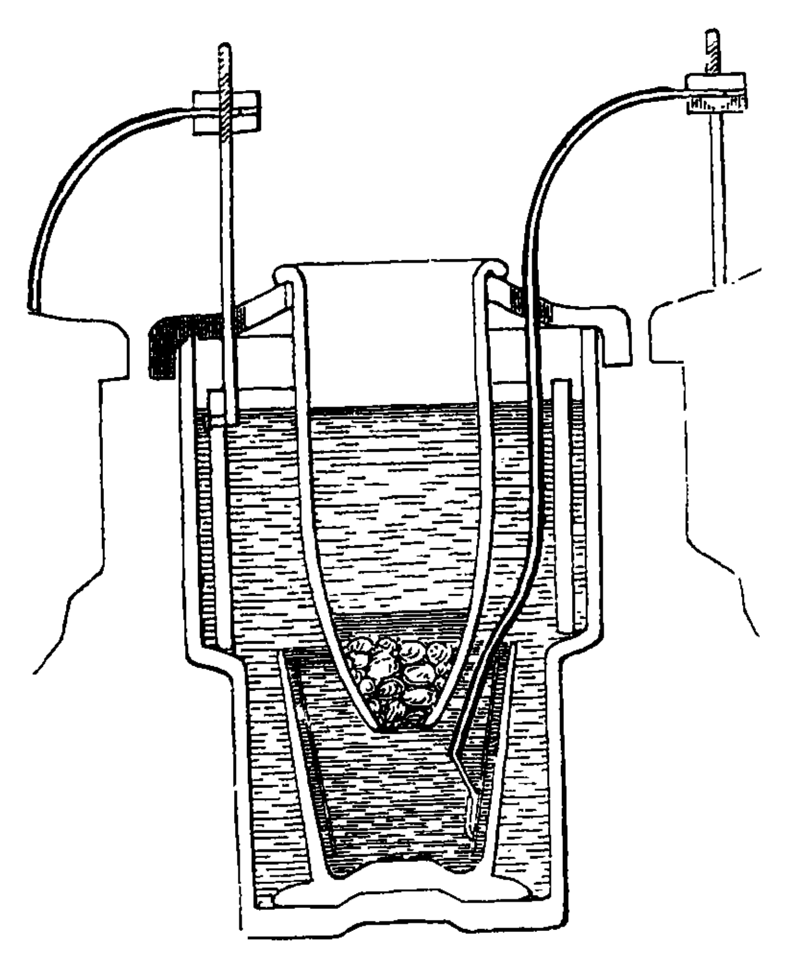


ситъ на верхнемъ краѣ стакана посредствомъ трехъ загнутыхъ выступовъ. На днѣ стакана помѣщена четыреугольная свинцовая пластинка, которая быстро покрывается слоемъ мѣди и такимъ образомъ играетъ роль положительнаго полюса.

Переходимъ къ элементу *Мейдингера*, изображенному на фиг. 115. Онъ состоитъ изъ большаго стекляннаго сосуда *AA*, на дно котораго поставленъ меньшій стаканчикъ *dd*; въ немъ помѣщается мѣдный листъ *c*, къ которому придѣлана изолированная проволока *m*. Цинковый цилиндръ *zz* не доходитъ до дна стакана. Воронкообразный сосудъ *h* съ отверстіемъ внизу наполненъ кристаллами мѣднаго купороса, крѣпкій растворъ котораго, опускаясь внизъ, непрерывно наполняетъ нижній стаканъ. Большой стаканъ наполняется чистою водою, которая, при дѣйствіи элемента, очень быстро получаетъ примѣсь цинковаго купороса. Видоизмѣненіе этого элемента представлено на фиг. 116. Здѣсь показано, какимъ образомъ рядъ элементовъ послѣдовательно соединяется въ батарею.

Фиг. 115.

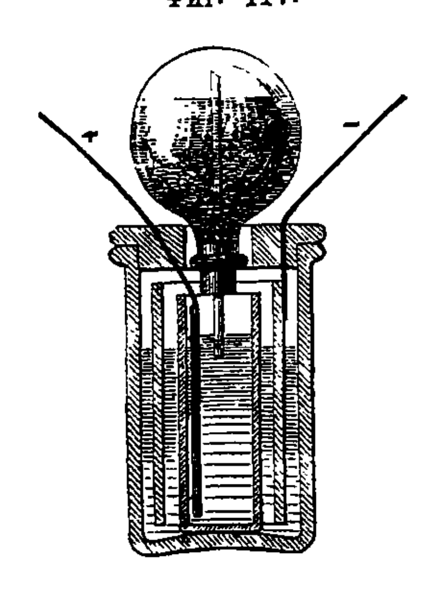

Фиг. 116.



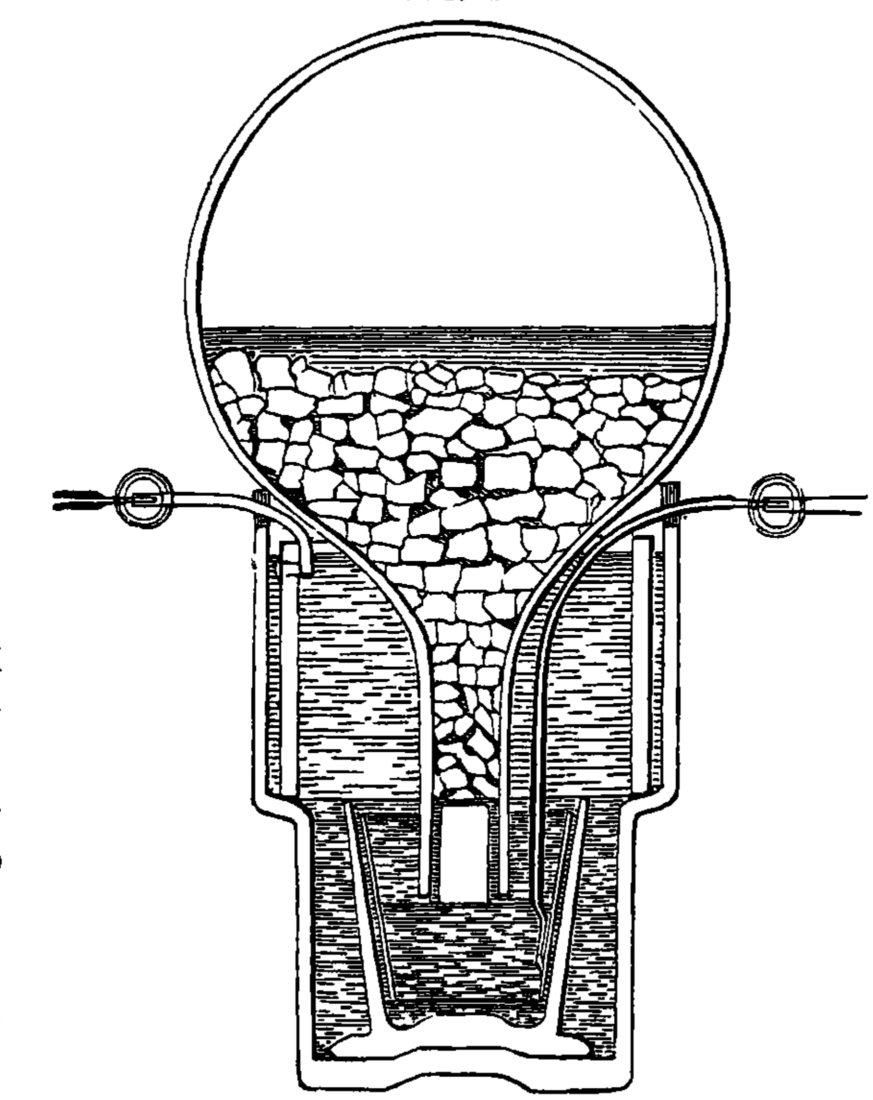
Элементъ (типъ Даніеля) *съ опрокинутымъ шаромъ* изображенъ на фиг. 117. Въ немъ пористый сосудъ содержитъ мѣдную пластинку съ проволокою; другая проволока припаяна къ цинку. Насыщенный растворъ мѣднаго купороса опускается въ пористый сосудъ изъ «баллона». Элементъ *Мейдингера* съ опрокинутымъ шаромъ представленъ на фиг. 118.

Мы подробно разсмотрѣли разнообразныя формы видоизмѣненій элемента Даніеля, характеризующагося сочетаніемъ: цинкъ, вода съ прибавкою кислоты или цинковаго купороса, растворъ мѣднаго купороса, мѣдь. Они всѣ отличаются значительнымъ постоянствомъ электровозбудительной силы,— которая однако не особенно велика, — не очень большимъ, сравнительно, внутреннимъ сопротивленіемъ и значительными выгодами въ экономическомъ отноше-

Фиг. 117.

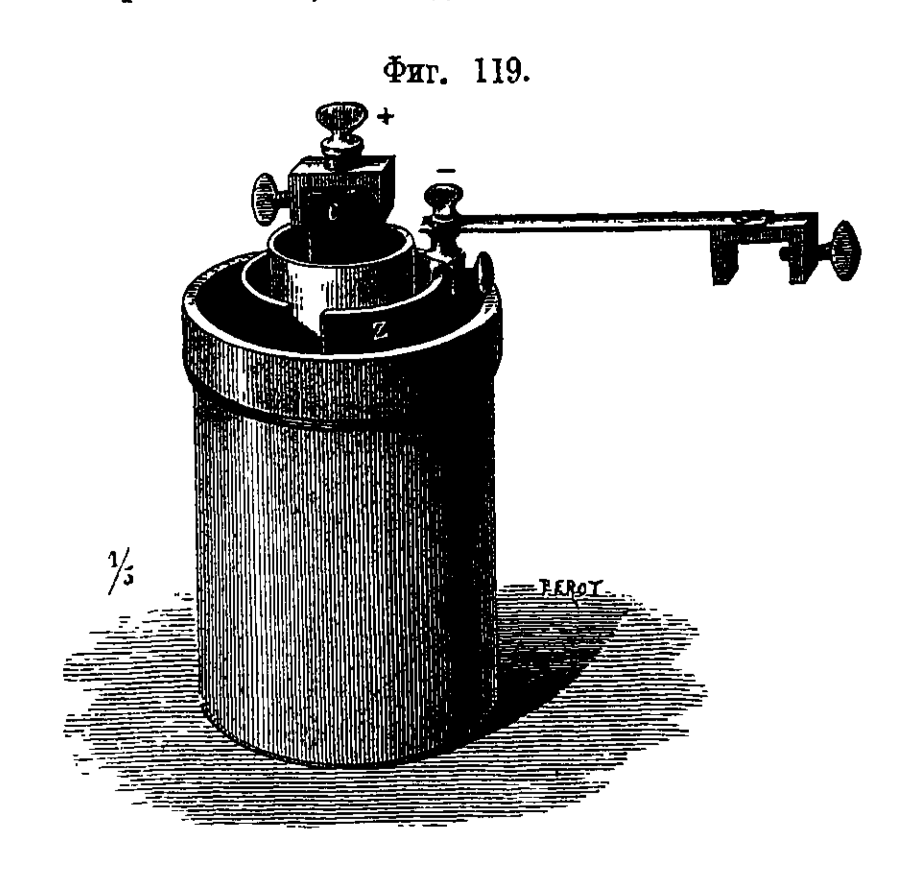


Фиг. 118.



ніи. Одинъ изъ ихъ недостатковъ заключается въ томъ, что растворъ мѣднаго купороса, просачиваясь черезъ пористый сосудъ или инымъ путемъ, доходитъ до цинка и портитъ его, осажденіемъ на немъ мѣди. Кромѣ того, пузырки, появляющіеся на цинкѣ и на мѣди, доказываютъ, что полная деполяризація не достигнута.

Фиг. 119.



Къ типу элементовъ Даніеля относится и элементъ *Мари Деви* (фиг. 119), который состоитъ изъ слѣдующихъ частей: цинкъ Z въ слабой сѣрной кислотѣ и уголь C въ кашѣ, состоящей изъ воды и сѣрнортутной соли; послѣдняя, плохо растворимая, будетъ медленно просачиваться и если попадетъ на цинкъ, то на немъ выдѣлится безвредная ртуть. Этотъ элементъ, который прежде много употреблялся во Франціи, имѣетъ громадный недостатокъ, а именно: сѣрнортутная соль вещество крайне ядовитое и, кромѣ того, расходы во время дѣйствія элемента сравнительно велики.

Электровозбудительная сила его въ 1,5 разъ больше электровозбудительной силы элемента Даніеля; она, по принятому обозначенію, равна, слѣдовательно, 1,5 D. Недостатки элемента Мари Деви устранены въ элементѣ *Бофиса*, изображенномъ схематически на фиг. 120. Къ пластинкѣ изъ минеральнаго угля прикрѣпленъ посредствомъ эбонитоваго болта кусокъ искусственнаго угля вилкообразной формы, между вѣтвями котораго помѣщается твердая смѣсь сѣрнортутной соли и ретортнаго угля, играющая роль деполяризатора. Цинкъ можетъ быть приподнятъ изъ жидкости, когда элементъ не дѣйствуетъ. Сборка его весьма проста и не представляетъ уже никакой опасности для рабочихъ.

Существуютъ элементы, въ которыхъ деполяризующая соль не есть соль сѣрной кислоты, какъ въ элементахъ Даніеля и Мари Деви. Разсмотримъ только одинъ изъ нихъ, въ которомъ положительный полюсъ окруженъ хлористымъ серебромъ.

Это элементъ *Варрена де ла Рю*; фиг. 121 представляетъ общій видъ группы 10 элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, а фиг. 122 различныя части, входящія въ составъ одного элемента. Онъ состоитъ изъ сосуда, въ который наливается растворъ нашатыря (23 ч. соли на

1000 ч. воды) и вставляется цинковая палочка (*C* на фиг. 122) и серебрянная ленточка, оплавленная хлористымъ серебромъ (второй слѣва рисунокъ на фиг. 122), которое играетъ роль соли, служащей для уничтоженія поляризаціи. Для избѣжанія случайнаго соприкосновенія между электродами, второй (серебряный) окруженъ цилиндромъ изъ пергамента (*A*, фиг. 122), черезъ двѣ дырочки котораго продѣвается серебряная лента, какъ показано въ *B* (фиг. 122). При дѣйствіи элемента хлористое серебро разлагается, водородъ соединяется съ хлоромъ, такъ что выдѣляется серебро, которое, наполняя промежутокъ между серебряною лентою и хлористымъ серебромъ, будетъ увеличивать общую серебряную поверхность. Въ то же время цинкъ растворяется и образуется хлористый цинкъ. Варренъ де ла Рю устроилъ батарею изъ 11,000 такихъ элементовъ; Дю Монсель сообщаетъ, что послѣ двадцати-часоваго дѣйствія въ нихъ не замѣчается поляризаціи.

Фиг. 120

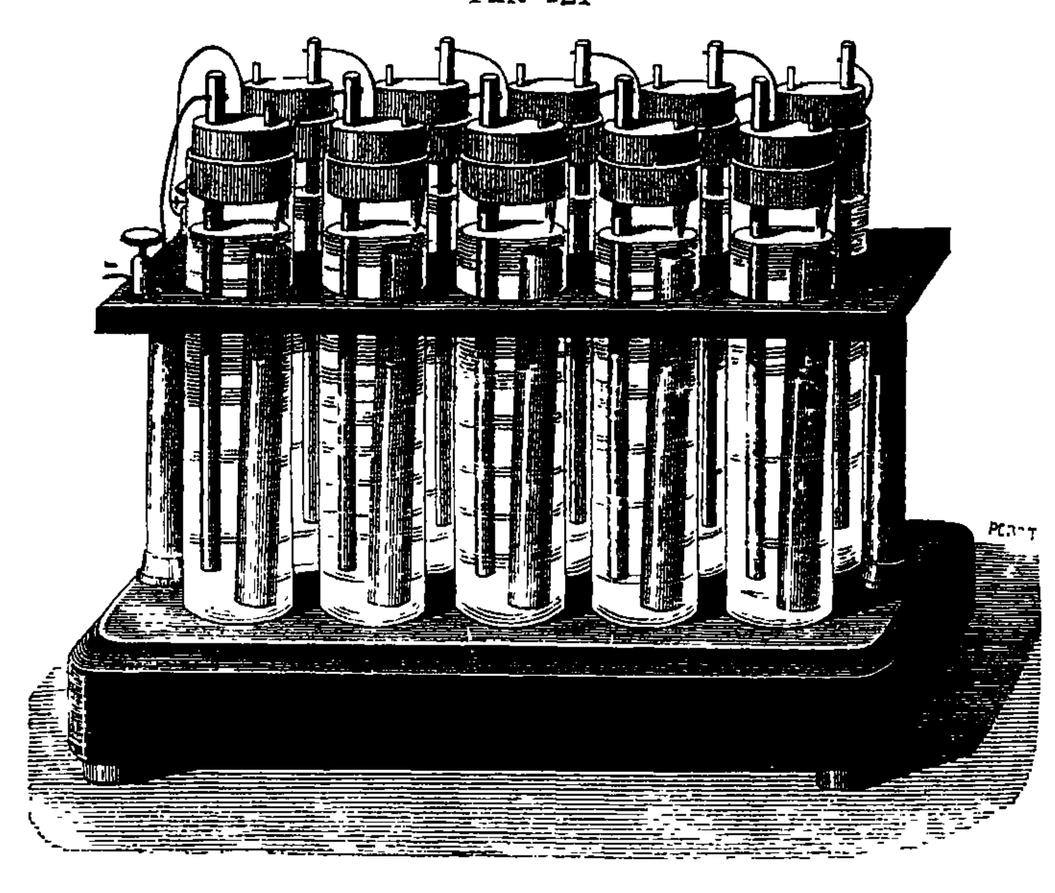
2. Элементы, въ которыхъ, для уничтоженія водорода, положительный полюсъ окруженъ тѣломъ, богатымъ кислородомъ.

Для уничтоженія поляризующаго водорода можно окружить положительный полюсъ тѣлами, которыя легко выдѣляютъ кислородъ, дающій съ водородомъ воду. Этого можно достигнуть различными способами.

A. Деполяризаторомъ служитъ азотная кислота, чрезвычайно богатая кислородомъ. Такъ устроенъ элементъ *Грове* (фиг. 123); снаружи пористаго сосуда *V* вставленъ цинкъ *Z* въ слабый растворъ сѣр-

вой кислоты; внутрь сосуда наливается азотная кислота и въ нее вставляется свернутый платиновый листъ P, изображенный отдѣльно на фиг. 124.

Фиг. 121



Водородъ соединяется съ кислородомъ азотной кислоты, вслѣдствіе чего

Фиг. 122.

Фиг. 123.

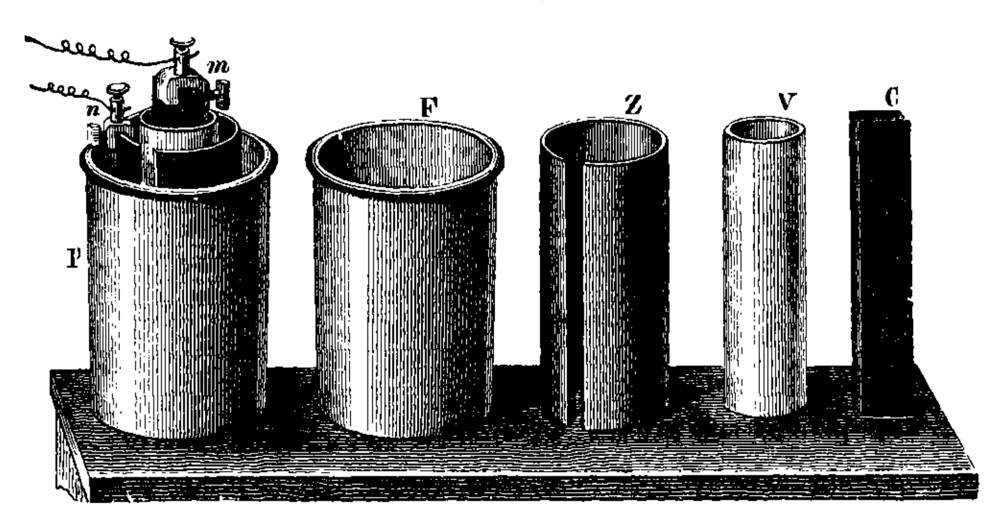
Фиг. 124.

будутъ выдѣляться разнородные низшіе окислы азота. Удушливый запахъ этихъ газообразныхъ окисловъ и вредное ихъ дѣйствіе при вдыханіи представляютъ большое неудобство.

Куперъ первый еще въ 1840 г. замѣнилъ платину углемъ; въ

1842 г. *Бунзенъ* началъ строить весьма распространенные элементы (фиг. 125), состоящіе изъ цинка *Z* въ слабой сѣрной кислотѣ и угольнаго цилиндра *C* въ азотной кислотѣ. Азотная кислота иногда замѣняется

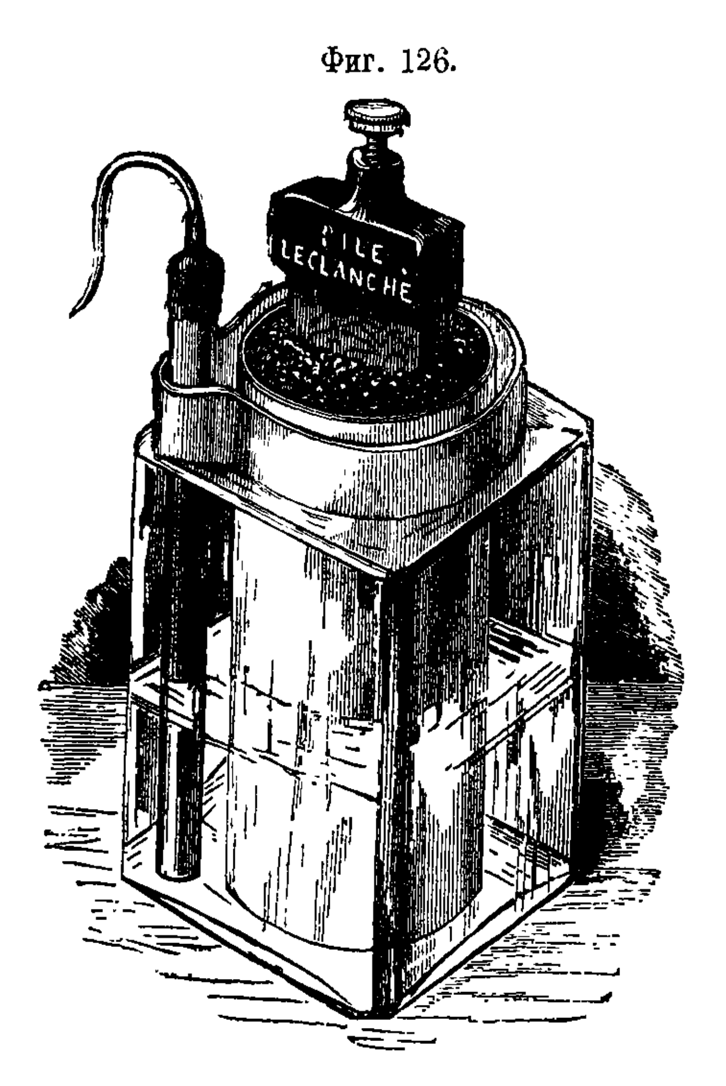
Фиг. 125.



хромовою кислотою. Электровозбудительная сила элемента Бунзена примѣрно 1,7 *D*.

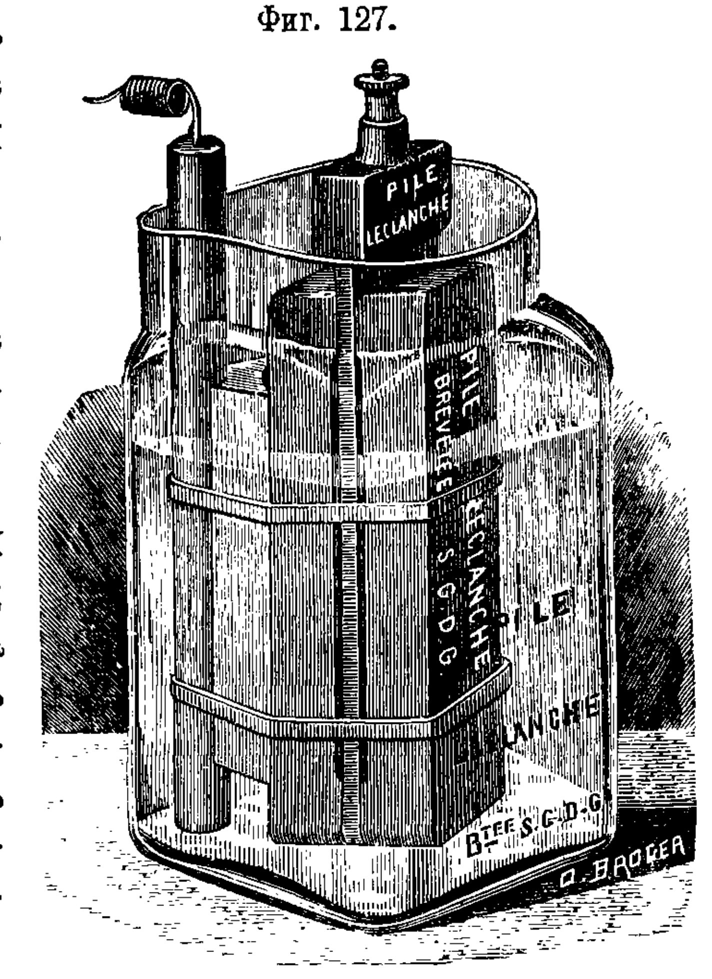
B. Деполяризаторомъ служитъ перекись марганца. Де ла Ривъ еще въ 1850 г. предложилъ пользоваться перекисью марганца для уничтоженія поляризаціи. Гораздо позже *Лекланше* устроилъ элементъ (фиг. 126), въ которомъ цинкъ находится въ растворѣ нашатыря и угольная палочка въ смѣси кусочковъ перекиси марганца и угля. Въ этомъ элементѣ поляризація почти вполнѣ уничтожена; водородъ соединяется съ кислородомъ перекиси марганца, вслѣдствіе чего образуется вода и окись марганца. Новое, недавно устроенное, видоизмѣненіе элемента Лекланше (фиг. 127) состоитъ также изъ цинковой палочки въ растворѣ нашатыря; но около угля помѣщаются двѣ толстыя пластинки особаго аггломерата, состоящаго изъ 40 частей пиролузита, 55 ч. угля и 5 ч. гуммилака, сжатыхъ при температурѣ 100° и давленіи въ 300 атмосферъ. Два резиновыхъ кольца обхватываютъ цинкъ, уголь и помѣщен-

Фиг. 126.



ную между ними деревяшку. Внутреннее сопротивленіе этого элемента меньше, чѣмъ у предъидущаго. Элементъ Лекланше имѣетъ слѣдующія свойства: 1) нашатырь не дѣйствуетъ на цинкъ,—слѣдовательно, нѣтъ химической реакціи, когда цѣпь не замкнута; 2) электровозбудительная сила велика: три элемента Лекланше имѣютъ электровозбудительную силу такую, какъ 5 элементовъ Даніеля; 3) внутреннее сопротивленіе не велико; 4) нѣтъ никакихъ ядовитыхъ веществъ и во время дѣйствія элемента особенно непріятныхъ испареній не замѣчается; выдѣляется только ничтожное количество амміака; 5) всѣ составныя части элемента дешевы и 6) хорошо выдерживаютъ низкую температуру. Элементъ Лекланше чрезвычайно распространенъ во Франціи; въ продолженіи 11 мѣсяцевъ такой элементъ могъ дѣйствовать по 23 ч. въ сутки.

Фиг. 127.



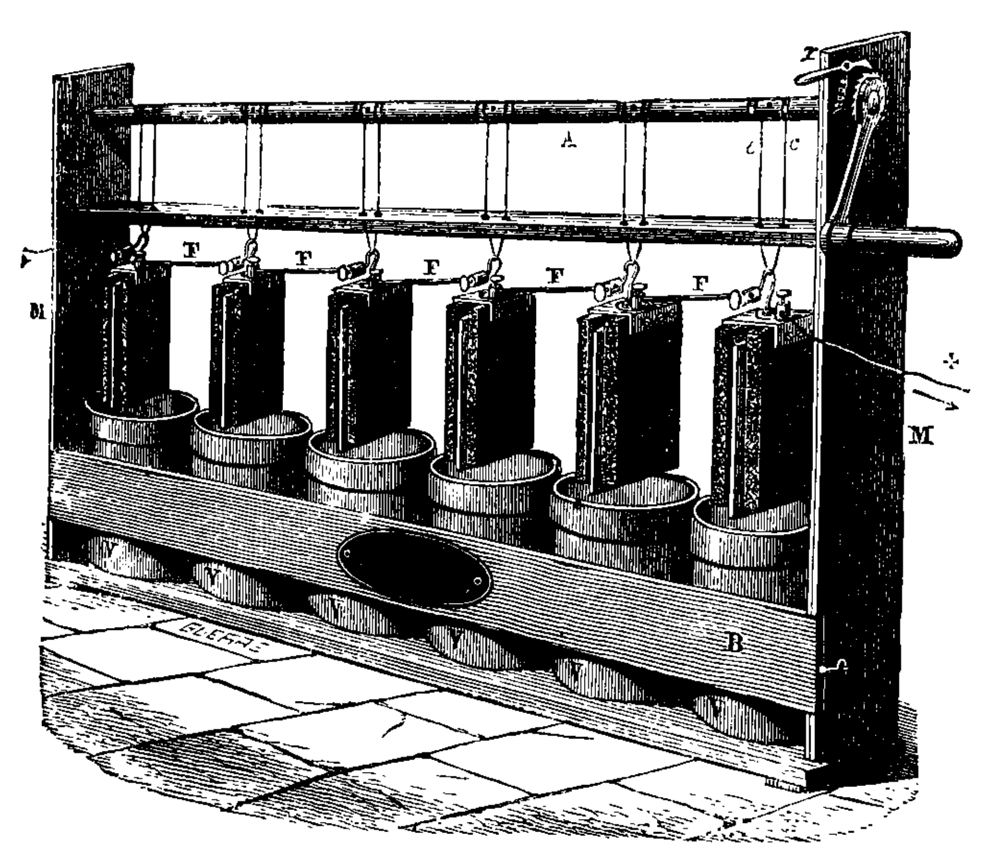
С. Деполяризаторомъ служитъ смѣсь двухромовокаліевой соли съ разбавленною сѣрною кислотою.

Поггендорфъ въ 1842 г. первый имѣлъ счастливую мысль воспользоваться этою смѣсью, которая образуетъ двойное соединеніе, въ родѣ квасцовъ, причемъ выдѣляется кислородъ, который и служитъ для уничтоженія поляризаціи, соединяясь съ водородомъ. *Дюкрете* устроилъ батареи, въ которыхъ цинкъ Z (фиг. 128) и уголь $C\ C'$ привѣшены на веревкахъ, навертывающихся на воротъ съ храповымъ колесомъ. Батарея изъ шести элементовъ представлена на фиг. 128.

Въ Англіи съ 1871 г. весьма распространено видоизмѣненіе элемента Поггендорфа, предложенное *Фуллеромъ*; въ февралѣ 1880 г. такихъ элементовъ было въ дѣйствіи до 20.000 экз. Элементъ Фуллера изображенъ на фиг. 129. Нижняя часть цинка имѣетъ форму круглой, широкой ножки. Внѣ пористаго сосуда помѣщается угольная пластинка въ смѣси двухромовокаліевой соли и слабой сѣрной кислоты. Во Франціи, по предложенію капитана *Поддо*, полевой телеграфъ употребляетъ двойную хромовокаліевую соль, а вмѣсто сѣрной кислоты,—особую соль (въ видѣ желтыхъ иглъ), полученную при пропусканіи избытка хлористоводороднаго газа черезъ растворъ двухромовокаліевой соли. Употребленіе этой соли имѣетъ ту выгоду, что, отправляясь хотя бы въ непріятельскую страну, не приходится брать съ собою никакихъ жидкостей; един-

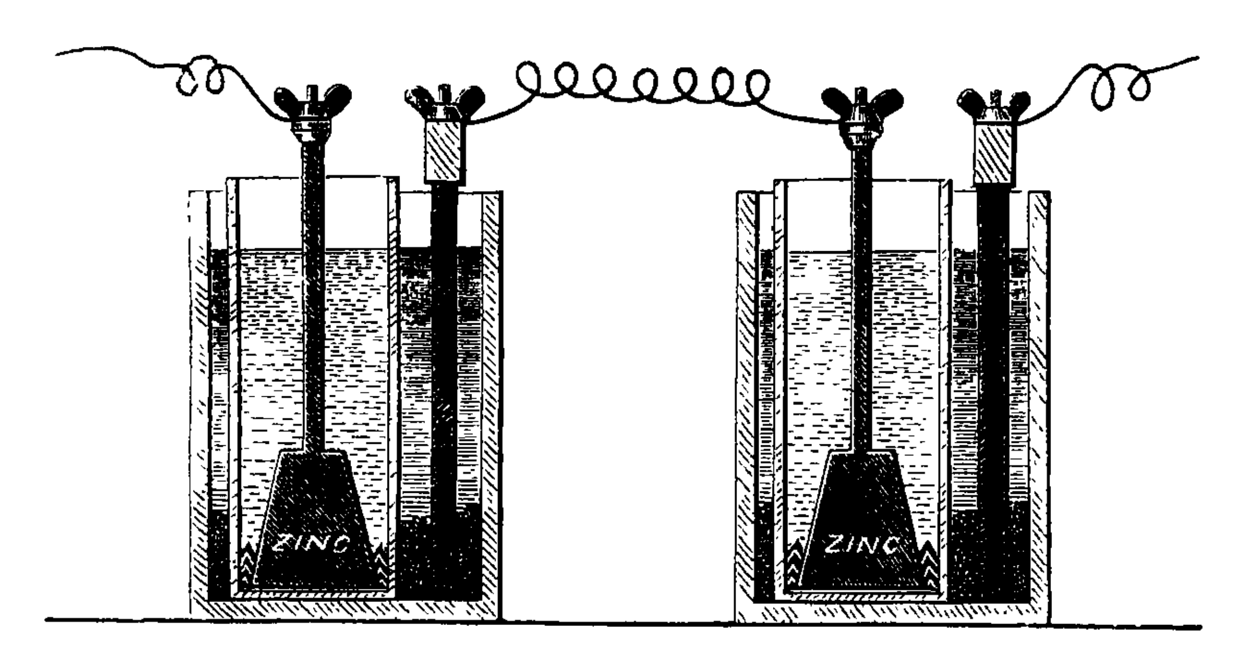
ственно нужная жидкость для этихъ элементовъ—вода, которую, конечно, вездѣ и всегда можно найти.

Фиг. 128



Элементъ *Грене* (фиг. 130) представляетъ упрощеніе элемента Поггендорфа. Цинковая пластинка Z виситъ на стержнѣ между двумя угольными пластинками kk; она можетъ быть приподнята на верхъ, когда элементъ не дѣйствуетъ, чѣмъ избѣгается напрасная трата цинка. Въ немъ поляризація довольно значительна; онъ даетъ кратковременный, но сильный токъ.

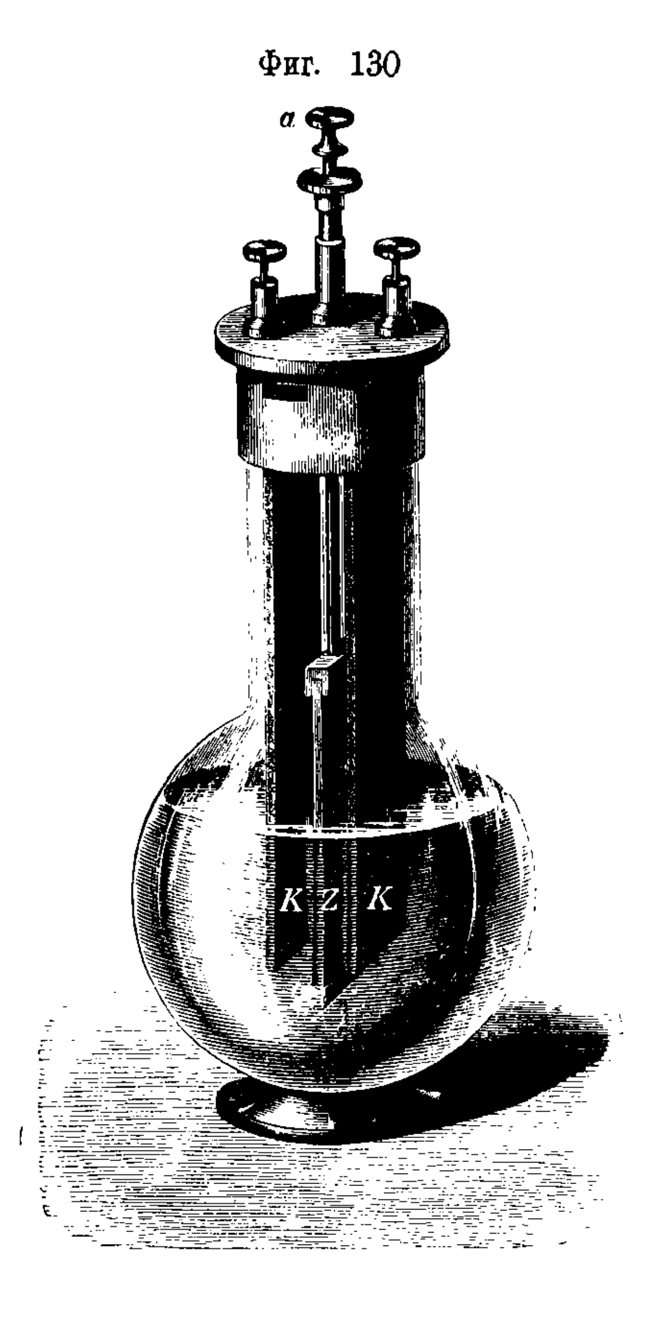
Фиг. 129.



На фиг. 131 изображена подъемная батарея, по устройству *Бунзена*. Въ стаканы наливается растворъ сѣрной кислоты (6,3 части) и двухромовокаліевой соли (6,2 части) въ водѣ (60,5 частей) Простой механизмъ даетъ возможность приподнять или опустить угли и цинки. Электровозбудительная сила 2,3 *D*.

D. Деполяризаторомъ служитъ черная окись мѣди. Въ 1883 г. появился замѣчательный новый элементъ *Лаланда* (фиг. 132). На днѣ стекляннаго сосуда помѣщается коробка изъ листоваго желѣза, заключающая окись мѣди *B*. Цинкъ *D* имѣетъ форму плоской спирали. Сосудъ наполненъ растворомъ ѣдкаго кали. Водородъ соединяется съ кислородомъ окиси мѣди, такъ что образуется вода и остается мѣдь. Поляризація въ этомъ элементѣ почти вполнѣ отсутствуетъ. Цинкъ медленно растворяется въ ѣдкомъ кали, образуя особое, весьма растворимое, соединеніе (Менделѣевъ «Основы Химіи». 1871 г. Часть II, стр. 182).

Фиг. 130



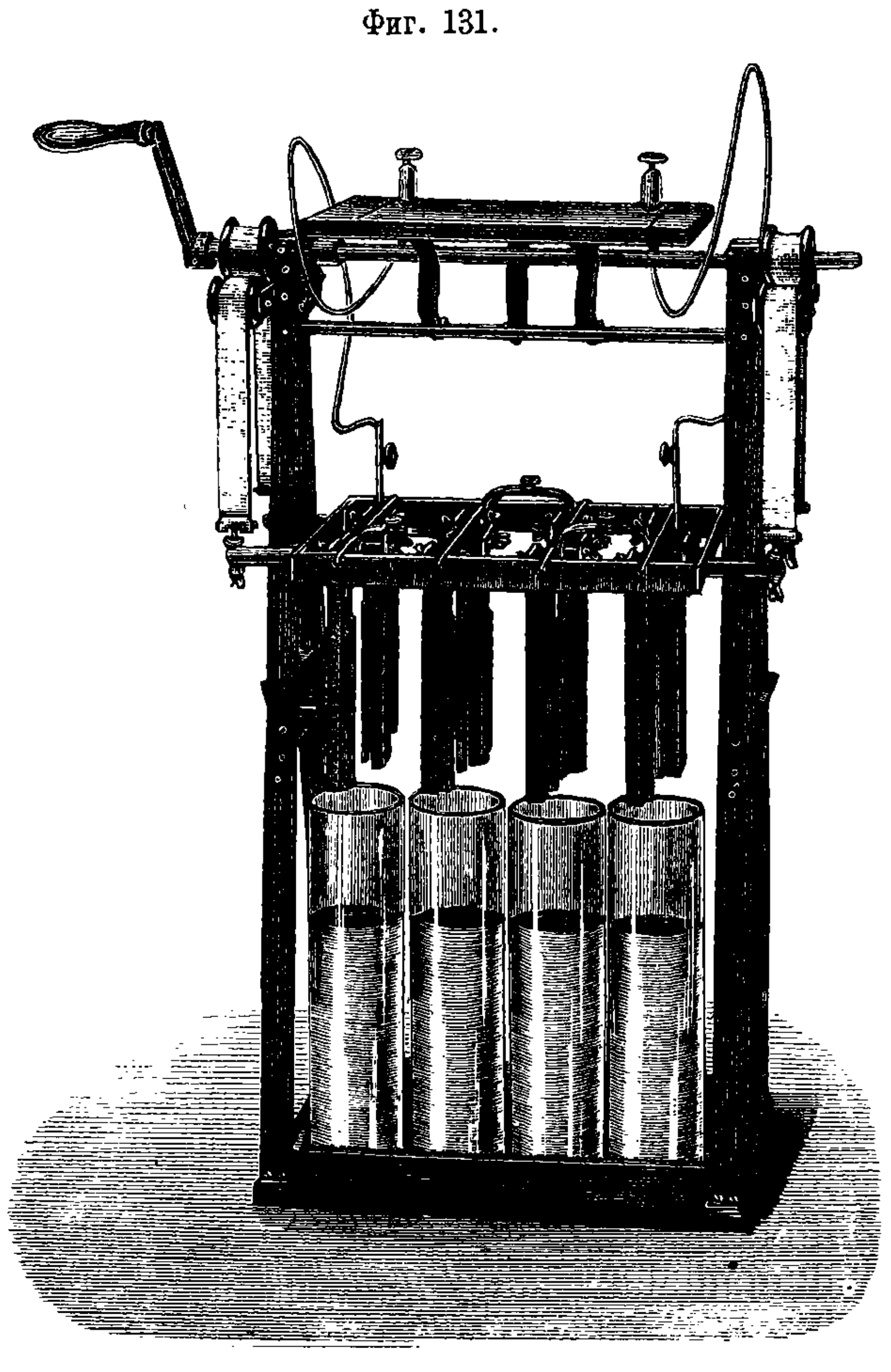
Вторичные или поляризаціонные элементы.

Въ заключеніе разсмотримъ поляризаціонные элементы.

Мы видѣли, что сосудъ, въ которомъ происходитъ разложеніе воды, самъ превращается въ элементъ. Это въ особенности имѣетъ мѣсто, если мы возьмемъ свинцовые электроды. Тотъ электродъ, на которомъ выдѣляется кислородъ, сильно окисляется, покрывается слоемъ перекиси свинца, а другой, на которомъ выдѣляется водородъ, получаетъ шероховатую, зернистую поверхность. Такой сосудъ можетъ служить элементомъ; онъ называется элементомъ поляризаціоннымъ или, какъ принято теперь называть, *аккумуляторомъ*. Онъ содержитъ два одинаковыхъ металла—слѣдовательно, самъ собою никакого тока не можетъ дать; но если чрезъ него пропускать впродолженіи нѣкотораго времени токъ отъ другаго источника, то элементъ будетъ «заряжаться», пластинки металлическія дѣлаются неодинаковыми, элементъ можетъ дать токъ. Поляризаціонный элементъ *Планте* состоитъ изъ двухъ свернутыхъ свинцовыхъ пластинокъ, помѣщенныхъ въ высокомъ стеклянномъ

сосудѣ (фиг. 133), наполненномъ разбавленною сѣрною кислотою. На фиг. 134 изображенъ аккумуляторъ Планте́ вмѣстѣ съ элементами, служащими для заряженія. *C* и *C* свинцовыя пластинки, соединенныя помощью зажимовъ *G* и *H* съ «первичною», заряжающею батареею, состоящею изъ двухъ элементовъ Бунзена. Отнявъ послѣ нѣкотораго времени эти элементы и нажавъ пуговку *B*, мы пропустимъ токъ вторичнаго элемента черезъ цѣпь, идущую отъ точекъ *A* и *A'*, напр. черезъ проволоку *F*, которая можетъ быть сильно накалена.

Фиг. 131.



Видоизмѣненіе поляризаціоннаго элемента Планте́ представляетъ аккумуляторъ *Фора*, надѣлавшій въ началѣ 1881 г. много шуму. Вмѣсто того, чтобы взять двѣ простыя свинцовыя пластинки, Форъ покрываетъ оба электрода, въ видѣ рѣшетокъ, слоемъ сурика и затѣмъ пропускаетъ токъ. Послѣ заряженія на одномъ электродѣ сурикъ превращается въ слой рыхлаго свинца, на другомъ—въ перекись свинца.

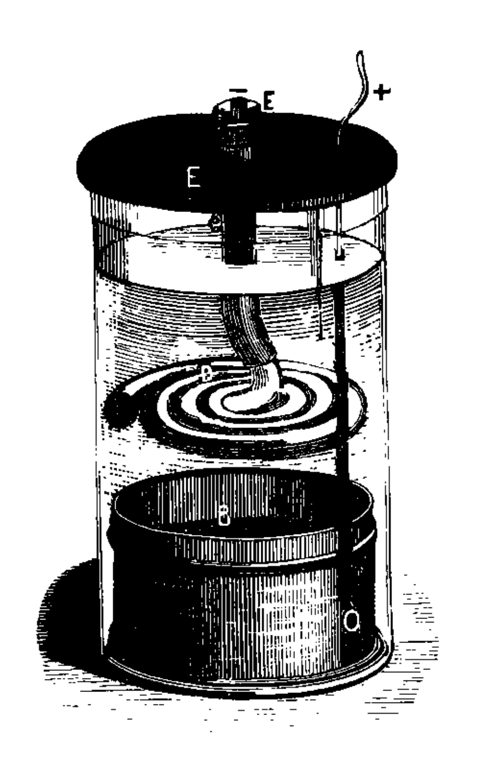
Подобнаго рода поляризаціонные элементы изготовляются и заводомъ Яблочкова въ Петербургѣ. Вмѣсто рѣшетокъ здѣсь берутъ гофрированныя свинцовыя пластинки и покрываютъ ихъ тѣстомъ, состоящимъ изъ глета и слабой сѣрной кислоты; оно придавливается къ свинцу посредствомъ гидравлическаго пресса. Электровозбудительная сила этихъ аккумуляторовъ 2 вольта; внутреннее сопротивленіе ничтожное.

Новый элементъ С. Н. Степанова для домашняго электрическаго освѣщенія. Въ послѣднее время Серг. Ник. Степановъ изобрѣлъ видоизмѣненіе элемента Даніеля для устройства домашняго электриче-

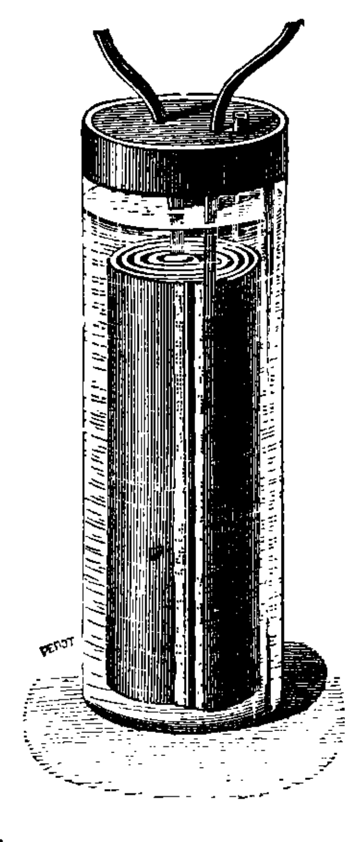
скаго освѣщенія. Подробности еще не публикованы. Изъ предварительнаго сообщенія изобрѣтателя заимствуемъ слѣдующее: «элементъ этотъ отличается весьма малымъ сопротивленіемъ (0,01 — 0,013 ома) и значительнымъ постоянствомъ въ предѣлахъ до 20 амперовъ. Батарея, будучи разъ заряжена, можетъ работать въ теченіи, приблизительно, 100 часовъ (съ перерывами или безъ нихъ), не требуя никакого ухода, кромѣ прибавленія мѣднаго купороса, въ количествѣ, необходимомъ для вечерняго освѣщенія. Купоросъ насыпается не въ отдѣльные элементы, а въ особое помѣщеніе, такъ что операція эта занимаетъ не болѣе двухъ минутъ. Батарея, помѣщающаяся въ ящикѣ, емкостью въ 0,2 куб. метра, можетъ развивать во внѣшней цѣпи около лошадиной силы, т. е. питать 10 — 12 лампъ накаливанья въ 16 — 20 свѣчей, или производить механическую работу около ½ лош. силы, въ теченіи, какъ уже сказано выше, 100 часовъ.»

Если надежды, которыя изобрѣтатель возлагаетъ на этотъ элементъ, оправдаются, то ему нельзя не предсказать огромнаго значенія въ будущемъ.

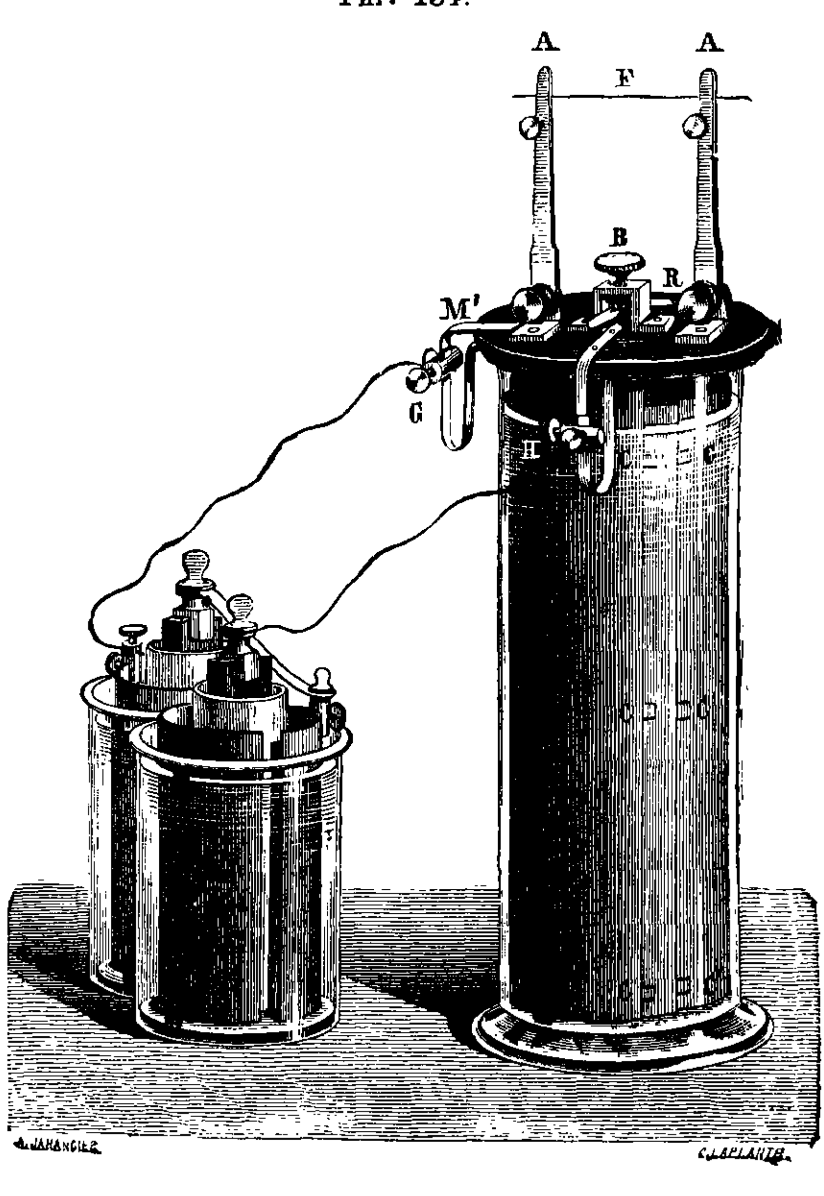
Фиг. 132.



Фиг. 133.



Фиг. 134.

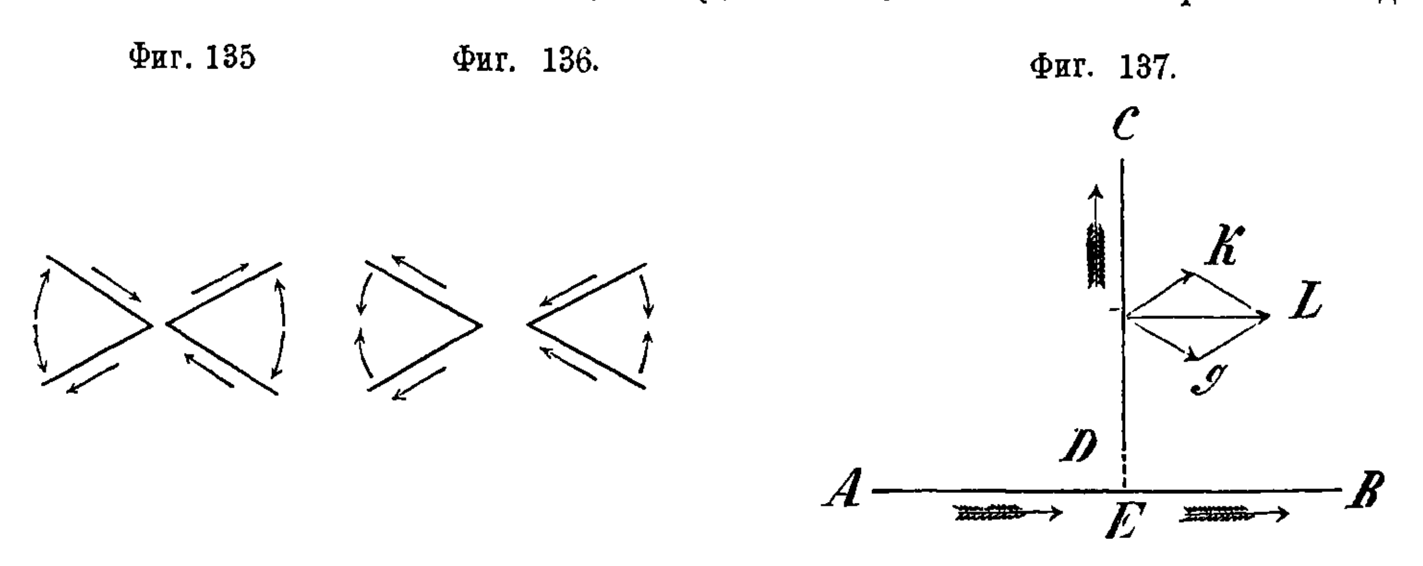


ЛЕКЦІЯ X.

Взаимодѣйствіе токовъ. Соленоиды. Теорія магнитизма Ампера. *Гальваническая индукція* Законъ Ленца. Магнито-электрическая индукція. Спираль Румкорфа Спираль Ричи. Спираль Споттисвуда Экстракуррентъ. Наблюденія Блазерна. Индукція землею Магнитизмъ вращенія. Успокоители. Современное положеніе электродинамики.

О взаимодѣйствіи токовъ.

Было упомянуто (стр. 82—83), что между токами или, выражаясь точнѣе, между проводниками, черезъ которые проходятъ токи, замѣчаются разнаго рода взаимодѣйствія. Опытъ показываетъ, что *токи, параллельные и идущіе по одному и тому же направленію, взаимно притягиваются; идущіе же по противоположнымъ направленіямъ—взаимно отталкиваются.* Если изъ двухъ, находящихся недалеко другъ отъ друга, перекрещивающихся токовъ одинъ *подвижной*, то послѣдній *обнаружитъ стремленіе стать параллельно неподвижному.* Если два тока, не перекрещиваясь, составятъ какъ бы стороны одного угла, то они будутъ взаимно притягиваться—если оба тока будутъ направлены къ вершинѣ или отъ вершины угла (фиг. 136); если же направленіе од-

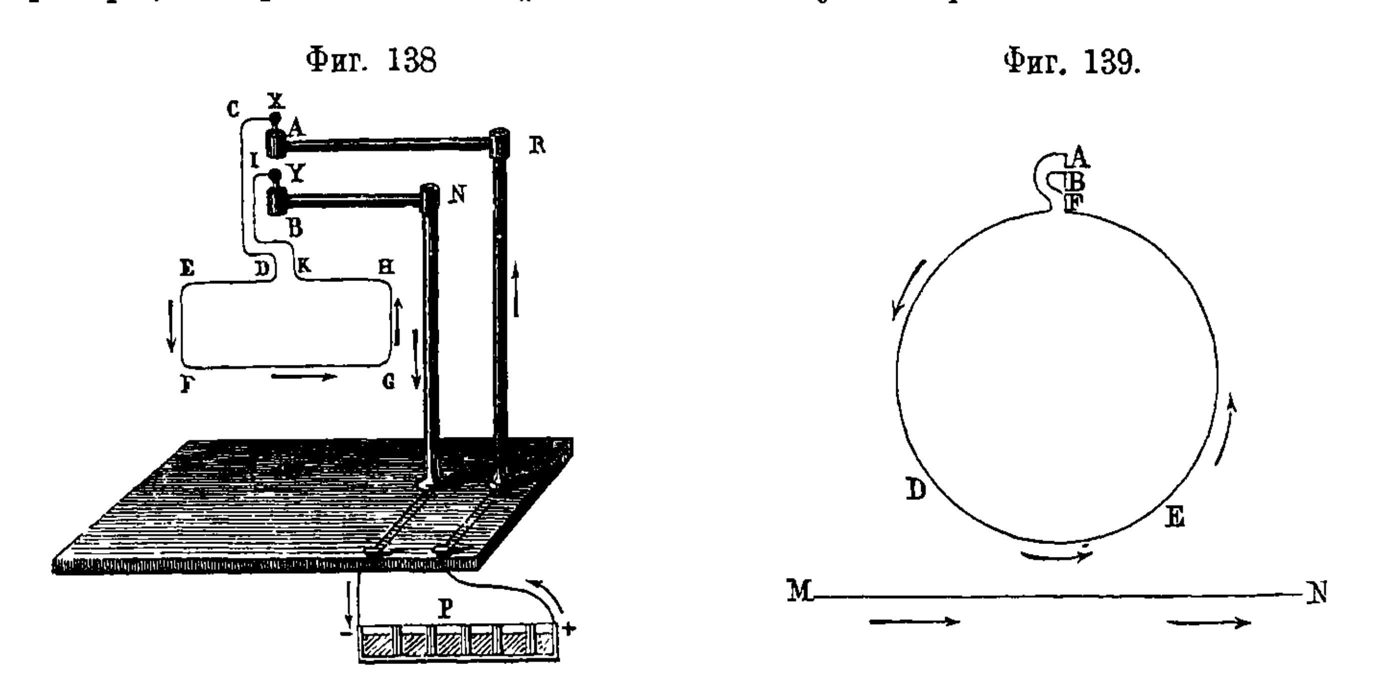


Фиг. 135 Фиг. 136. Фиг. 137.

ного тока будетъ къ вершинѣ, а другаго—отъ вершины угла (фиг. 135), то токи будутъ взаимно отталкиваться. На основаніи этихъ законовъ взаимодѣйствія токовъ не трудно объяснить замѣчательный случай дѣйствія длиннаго тока AB (фиг. 137) на короткій отрѣзокъ CD подвижнаго тока, направленнаго къ нему перпендикулярно. Длинный токъ AB можетъ быть раздѣленъ на двѣ части AE и EB. Такъ какъ токъ CD и часть EB большаго тока имѣютъ оба направленіе отъ вершины E угла, то, на основаніи предъидущаго, они взаимно притягиваются, т. е.

на короткій токъ CD дѣйствуетъ нѣкоторая сила G; токъ CD и часть AE длиннаго тока на основаніи предъидущаго будетъ взаимно отталкиваться, т. е. на токъ CD будетъ дѣйствовать еще нѣкоторая сила K. Вслѣдствіе симметричности частей AE и EB силы K и G будутъ равны по величинѣ и составятъ одинаковые углы съ направленіемъ тока CD. По закону параллелограмма силъ, мы получимъ равнодѣйствующую силу L, параллельную току AB. Итакъ, оказывается, что совокупное дѣйствіе всѣхъ частей тока AB на токъ CD выражается силою, дѣйствующею параллельно этому току. Вслѣдствіе этого отрѣзокъ CD тока будетъ двигаться въ сторону слѣва направо, и если большой токъ представитъ замкнутую окружность, то короткій токъ будетъ непрерывно вращаться вдоль этой окружности.

Для изслѣдованія закона взаимодѣйствія токовъ можетъ служить приборъ, изображенный на фиг. 138. Къ двумъ вертикальнымъ колоннамъ



Фиг. 138

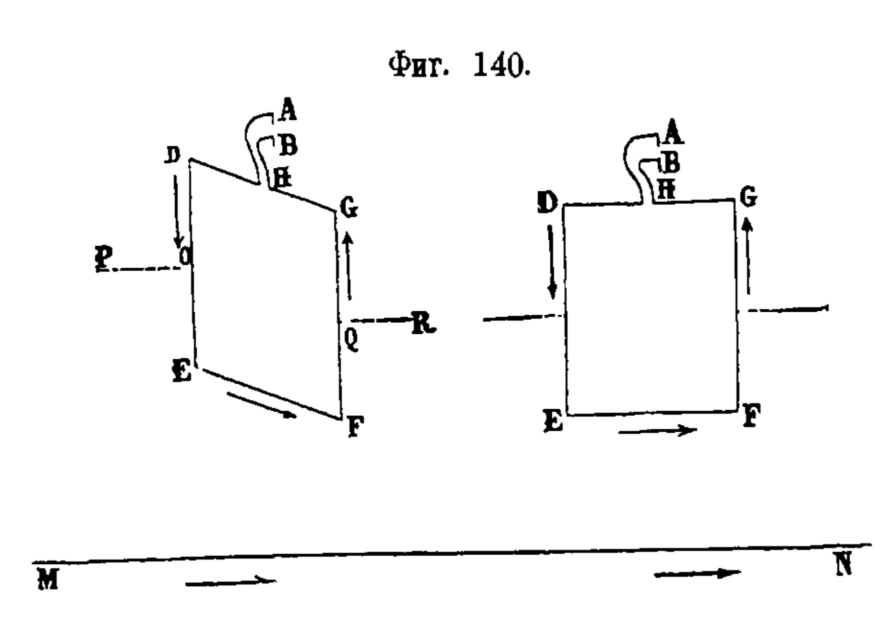
Фиг. 139.

RR и MN придѣланы боковые стержни RA и NB, на концахъ которыхъ находятся маленькіе сосудики, содержащіе ртуть, въ которые упирается концами изогнутая проволока $XCDEFGHKY$, свободно вращающаяся около вертикальной прямой, проходящей черезъ точки X и Y. Токъ отъ батареи P проходитъ черезъ колонны и проволоку по направленію, обозначенному стрѣлками. Проволока можетъ быть замѣнена другими, имѣющими различныя формы, напр. круглою (фиг. 139); такая проволока стремится стать параллельно неподвижному току MN, проходящему вблизи.

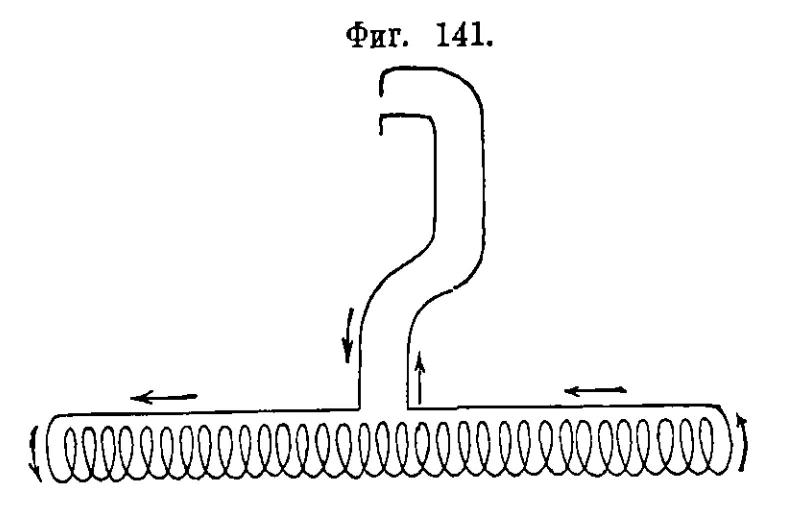
Если плоскость подвижнаго тока $ADEFGHB$ (фиг. 140, лѣвая сторона) составляетъ уголъ съ направленіемъ неподвижнаго тока MN, то на подвижную проволоку будутъ дѣйствовать двѣ силы QR и OP (пара силъ), подъ вліяніемъ которыхъ проволока повернется, такъ что ея плоскость сдѣлается параллельною прямой MN, какъ показано на правой сторонѣ фигуры 140.

Соленоидомъ (фиг. 141) называется спирально свернутая проволока, черезъ которую проходитъ токъ. Если, во время прохожденія тока черезъ соленоидъ, мы будемъ смотрѣть на одинъ его конецъ, то токъ будетъ представляться намъ идущимъ хотя бы по направленію движенія часовой стрѣлки; если затѣмъ смотрѣть на другой конецъ соленоида, то, понятно, намъ представится направленіе тока обратнымъ движенію часовой стрѣлки. Противоположные концы соленоида, по причинѣ, которая выяснится изъ дальнѣйшаго, называются полюсами соленоида, и если мы имѣемъ два соленоида, то полюсы, на которыхъ токи проходятъ по тому же направленію, называются одноименными полюсами, а тѣ полюсы, на которыхъ токи идутъ по противоположнымъ направленіямъ—разноименными.

Фиг. 140.



Фиг. 141.



Если къ полюсамъ подвижнаго соленоида приближать полюсы другого соленоида, то оказывается, что одноименные полюсы взаимно отталкиваются, а разноименные притягиваются. Не трудно объяснить это явленіе на основаніи выше упомянутыхъ законовъ взаимодѣйствій токовъ. Положимъ сперва, что соленоиды расположены рядомъ и обращены къ намъ одноименными полюсами, въ которыхъ токи (см. фиг. 142) идутъ по одному и тому же направленію (на чертежѣ по направленію движенія часовой стрѣлки). Тогда очевидно, что въ ближайшихъ другъ къ другу частяхъ соленоидовъ токи будутъ идти по противуположнымъ направленіямъ — а слѣдовательно эти концы должны взаимно отталкиваться.

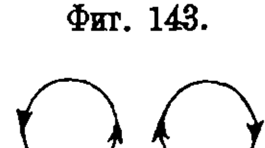
Фиг. 142.

Если помѣстить соленоиды, обращенные другъ къ другу одноименными полюсами, не рядомъ, а такъ, что одинъ составитъ продолженіе другаго, то и въ этомъ случаѣ произойдетъ взаимное отталкиваніе, такъ какъ въ сосѣднихъ частяхъ двухъ соленоидовъ токи будутъ расположе-

ны параллельно, но направленія ихъ будутъ противоположныя, что легко сообразить, если представить себѣ фиг. 142 сложенною вдвое по линіи, проходящей посреди между обоими кружками.

Разсматривая такимъ же образомъ взаимодѣйствіе разноименныхъ полюсовъ двухъ соленоидовъ, мы легко убѣдимся, что они должны взаимно притягиваться, какъ въ случаѣ, если соленоиды расположены рядомъ (фиг. 143, въ ближайшихъ частяхъ токи имѣютъ одно и то же направленіе), такъ и въ случаѣ, если одинъ соленоидъ составитъ продолженіе другаго.

Фиг. 143.



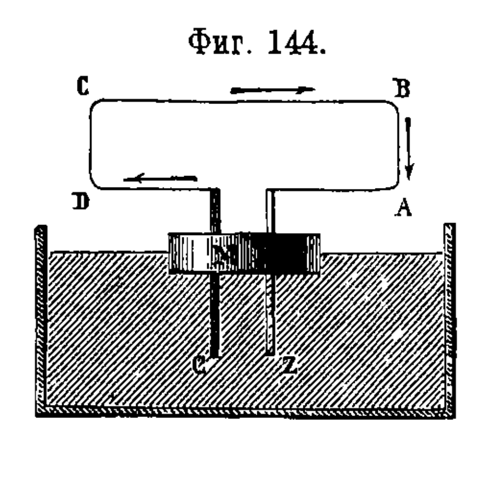
Очевидно, что законъ взаимодѣйствія двухъ соленоидовъ оказывается совершенно тождественнымъ съ закономъ взаимодѣйствія двухъ магнитовъ. Но аналогія между магнитами и соленоидами идетъ еще гораздо дальше.

Если, вмѣсто того, чтобы приближать къ подвижному соленоиду другой соленоидъ, мы приблизимъ къ нему магнитъ, то замѣтимъ точно такое же взаимодѣйствіе; конецъ магнита, притягивающій одинъ конецъ соленоида, отталкиваетъ другой; перевернувъ магнитъ, замѣчаемъ дѣйствія, какъ разъ противоположныя.

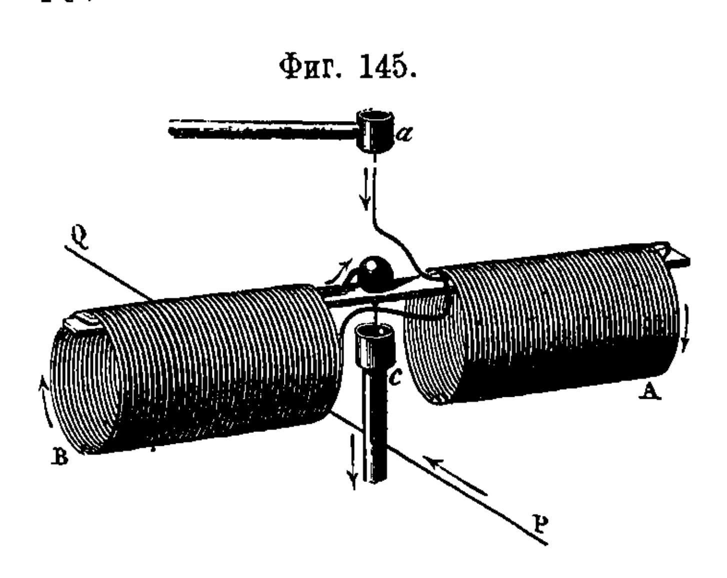
При этомъ оказывается, что тотъ конецъ соленоида, глядя на который токъ представится намъ идущимъ по *направленію движенія часовой стрѣлки*, имѣетъ всѣ свойства *южнаго* полюса магнита.

Далѣе подвижной соленоидъ имѣетъ свойство магнита: устанавливаться въ магнитномъ меридіанѣ, т. е. такъ, что его сѣверный полюсъ показываетъ приблизительно къ сѣверу, а южный—къ югу.

Фиг. 144.



Фиг. 145.



Дѣйствіе магнита-земли на подвижной токъ обнаруживается даже, если соленоидъ замѣнить однимъ оборотомъ проволоки. Чтобы показать это дѣйствіе, устроиваютъ плавающій элементъ (фиг. 144): въ сосудѣ, наполненномъ разбавленною сѣрною кислотою, плаваетъ пробка M, черезъ которую просунуты цинкъ Z и мѣдь C, соединенные проволокою $ABCD$, черезъ которую проходитъ токъ. Какъ бы ни установить пробку, она сама

поворачивается такъ, что ея плоскость дѣлается перпендикулярною къ плоскости магнитнаго меридіана.

Далѣе, подобно тому, какъ магнитъ возбуждаетъ магнитизмъ въ кускѣ желѣза, такъ и соленоидъ можетъ превратить кусокъ желѣза въ магнитъ: это давно уже разсмотрѣнное нами явленіе электромагнитизма (см. стр. 82 и 128).

Наконецъ, если вблизи отъ подвижнаго соленоида *AB*, фиг. 145 (устройство соленоида здѣсь нѣсколько иное, чѣмъ на фиг. 141; стрѣлки достаточно ясно опредѣляютъ путь тока), установившагося въ магнитномъ меридіанѣ, пропустить токъ *PQ*, то соленоидъ отклонится въ сторону совершенно также, какъ отклоняется въ сторону магнитная стрѣлка, т. е устанавливаясь перпендикулярно къ направленію тока.

На аналогіи между соленоидами и магнитами основана *теорія магнитизма*, предложенная *Амперомъ*, сущность которой заключается въ допущеніи, что каждый магнитъ есть въ нѣкоторомъ смыслѣ слова соленоидъ. По теоріи Ампера, предполагается, что каждая частица магнита окружена непрерывнымъ, конечно, весьма малымъ токомъ. Рядъ частицъ внутри магнита, расположенныхъ по одной прямой линіи и окруженныхъ такими элементарными амперовыми токами, плоскости которыхъ перпендикулярны къ этой прямой, представляютъ, очевидно, нѣчто совершенно аналогичное соленоиду. Задача всякой гипотезы, какъ уже было упомянуто на стр. 2, объяснить какъ можно большее число явленій; гипотеза Ампера сводитъ къ одному началу двѣ громадныя группы явленій: магнитныхъ и гальваническихъ. Вмѣсто двухъ гипотезъ, которыя необходимо было придумать для объясненія этихъ двухъ группъ явленій, теорія Ампера даетъ намъ возможность ограничиться одною гипотезою. Всѣ магнитныя явленія она сводитъ къ явленіямъ гальваническимъ. Конечно, никто не станетъ утверждать, чтобы теорія Ампера была удобопонятна. Такъ, непостижимо, какимъ образомъ внутри магнита вокругъ каждой частицы непрерывно можетъ существовать гальваническій токъ, непрерывная электрическая энергія, не превращающаяся, какъ мы привыкли это видѣть въ другихъ случаяхъ, въ энергію тепловую. Какъ бы то ни было однако, и хотя, быть можетъ, гипотеза Ампера и будетъ со временемъ окончательно вытѣснена другою, но навсегда ея появленіе останется однимъ изъ наиболѣе интересныхъ фактовъ въ исторіи физики, и во всякомъ случаѣ она можетъ служить въ высшей степени удобнымъ и краткимъ выраженіемъ сущности большаго числа фактовъ и полезною руководящею нитью при изслѣдованіи магнитныхъ явленій.

Допуская, что внутри магнита существуютъ элементарные токи, плоскости которыхъ перпендикулярны къ оси магнита, мы весьма просто объяснимъ цѣлый рядъ различныхъ явленій, которыя всѣ сводятся къ одному началу, а именно *къ закону взаимодѣйствія токовъ*.

Отклоненіе магнитной стрѣлки подъ вліяніемъ гальваническаго тока

объясняется (по теоріи Ампера) тѣмъ, что элементарные токи въ магнитной стрѣлкѣ стремятся стать параллельно отклоняющему току, а слѣдовательно ось магнита—перпендикулярно къ этому току.

Взаимодѣйствіе магнитовъ сводится къ взаимодѣйствію соленоидовъ, образуемыхъ элементарными токами.

Принимaніе магнитомъ опредѣленнаго направленія мы объясняемъ тѣмъ, что земля есть магнитъ. Полагая, что магниты суть соленоиды, мы получимъ интересный результатъ, что и земля есть соленоидъ; при этомъ остается открытымъ вопросъ, будетъ ли земля магнитомъ въ томъ смыслѣ, какъ дѣйствительный магнитъ, т. е. будетъ ли она содержать въ себѣ безчисленное множество амперовыхъ элементарныхъ токовъ, или она въ точномъ смыслѣ слова соленоидъ, т. е. что въ ней существуютъ токи, которые имѣютъ, примѣрно, направленія параллельныхъ круговъ.

Что въ землѣ дѣйствуютъ электровозбудительныя силы, что въ ней существуютъ электрическіе токи, въ этомъ сомнѣваться не возможно. Не болѣе какъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ возникла новая наука о земномъ токѣ, и въ настоящее время во всѣхъ образованныхъ государствахъ производятся изслѣдованія силы и направленія этого тока. Источники электровозбудительныхъ силъ, дѣйствующихъ въ землѣ, конечно, не извѣстны.

Что магнитная стрѣлка устанавливается въ опредѣленномъ направленіи, объясняется, по теоріи Ампера, какъ результатъ взаимодѣйствія между земными токами и элементарными амперовыми токами, находящимися внутри магнита.

Возбужденіе магнитнаго состоянія въ кускѣ желѣза, приближеннаго къ магниту, т. е. явленіе магнитной индукціи, объясняется слѣдующимъ образомъ. Въ кускѣ не намагниченнаго желѣза или стали частицы также окружены элементарными амперовыми токами, но плоскости этихъ токовъ будутъ всевозможныя, такъ что въ нихъ нѣтъ преимущественнаго, такъ сказать, направленія. Когда такой кусокъ желѣза или стали мы приближаемъ къ дѣйствительному магниту, то амперовы токи, находящіеся внутри желѣза или стали, поворачиваются, стремятся стать параллельно амперовымъ токамъ, находящимся въ дѣйствительномъ магнитѣ, и вслѣдствіе этого кусокъ желѣза или стали самъ превращается въ магнитъ.

Возбужденіе магнитизма въ кускѣ желѣза, помѣщенномъ внутри соленоида, объясняется, опять-таки, весьма просто. Токи соленоида заставляютъ амперовы токи въ кускѣ желѣза стать къ нимъ параллельно, чѣмъ и обусловливается превращеніе желѣзнаго или стальнаго стержня въ магнитъ.

Мы видимъ, что цѣлый рядъ разнообразныхъ явленій, сведенныхъ къ одному основному началу, къ закону взаимодѣйствія токовъ, объясняется такимъ образомъ весьма просто.

Гальваническая индукція.

Если помѣстить рядомъ двѣ изолированныя проволоки, концы одной соединить съ полюсами батареи, такъ что черезъ нее пройдетъ гальваническій токъ, и *затѣмъ* концы другой соединить съ чувствительнымъ гальванометромъ, то окажется, что магнитная стрѣлка этого гальванометра останется въ магнитномъ меридіанѣ, т. е. въ сосѣдней спирали никакого тока не появится. Отсюда мы заключаемъ, что одного сосѣдства съ токомъ для индукціи, т. е. для возбужденія гальваническаго тока, не достаточно. Но если мы «сосѣднюю» спираль, соединенную съ гальванометромъ, быстро отодвинемъ отъ спирали, черезъ которую проходитъ токъ, то въ этотъ моментъ магнитная стрѣлка получитъ какъ бы мгновенный толчокъ, что̀ покажетъ, что въ сосѣдней спирали былъ «*индуктированъ*» кратковременный токъ. Оказывается, что этотъ токъ имѣетъ то же самое направленіе, какъ и «*индуктирующій*» токъ, т. е. онъ ему параллеленъ. Мы назовемъ такой индуктированный токъ *прямымъ* токомъ. Если спираль, соединенную съ гальванометромъ, быстро приблизить къ спирали, черезъ которую проходитъ токъ, то въ первой индуктируется кратковременный токъ, направленіе котораго будетъ обратно направленію индуктирующаго тока. Такой токъ называется *обратнымъ*. То же самое произойдетъ, если мы, вмѣсто того, чтобъ двигать спираль, соединенную съ гальванометромъ, станемъ приближать или удалять спираль, черезъ которую проходитъ токъ. Вообще при всякомъ сближеніи спиралей въ первой индуктируется обратный, при удаленіи же—прямой токъ. Спирали могутъ быть также помѣщены одна внутри другой. Фиг. 146-я даетъ ясное представленіе о распредѣленіи приборовъ и способѣ производства опыта Можно обобщить полученный результатъ: при всякомъ измѣненіи взаимнаго расположенія упомянутыхъ двухъ спиралей индуктируется токъ, исчезающій, какъ только прекращается относительное движеніе спиралей.

Если вблизи спирали, черезъ которую проходитъ токъ, помѣстить какой нибудь сплошной кусокъ металла, или вообще проводникъ, то точно также, при всякомъ измѣненіи взаимнаго расположенія спирали и куска металла, внутри послѣдняго индуктируется кратковременный замкнутый токъ.

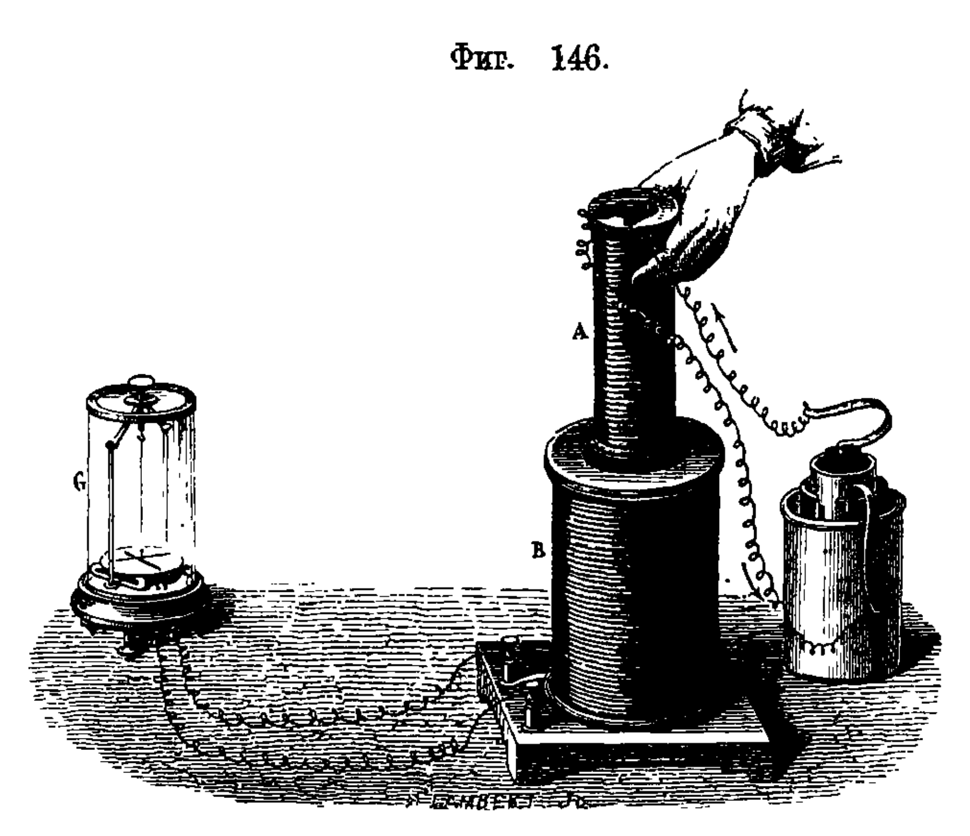
Направленіе индуктированныхъ токовъ опредѣляется *закономъ Ленца*, который заключается въ слѣдующемъ: *при всякомъ движеніи проводника вблизи тока, или тока вблизи проводника, индуктируется въ проводникѣ токъ, который, вслѣдствіе своего взаимодѣйствія съ индуктирующимъ токомъ, стремится произвести движеніе, какъ разъ обратное тому, которое имѣетъ мѣсто.* Такъ

напр., при *удаленіи* является токъ прямой, т. е. параллельный данному току; параллельные токи притягиваются — слѣдовательно является противодѣйствіе совершающемуся удаленію.

Наоборотъ, при сближеніи индуктируется отталкивающій обратный токъ.

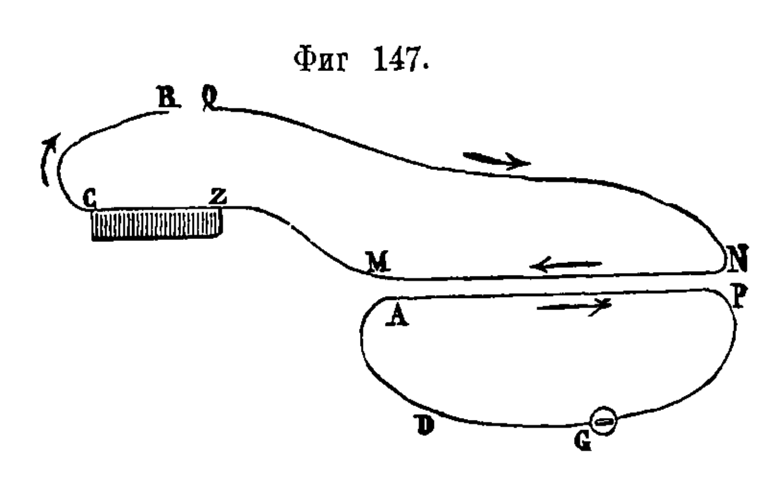
Разсмотрѣнные нами случаи появленія индуктированныхъ токовъ далеко не единственные. Если вблизи замкнутой проволоки *GDAPG*

Фиг. 146.



(фиг. 147), въ которую введенъ гальваноскопъ *G*, находится проволока *MN*, составляющая часть разомкнутой (въ *QR*) цѣпи (*C* и *Z* полюсы батареи), то въ моментъ замыканія тока, проходящаго черезъ *MN*, въ *AG* индуктируется кратковременный обратный (какъ показано стрѣлками) токъ. Въ моментъ размыканія тока, индуктируется прямой токъ. *Исчезаніе* тока при размыканіи цѣпи, а также *ослабленіе* его, производятъ слѣд. такое же дѣйствіе, какъ и *удаленіе*: индуктируется прямой токъ. *Появленіе* тока, при замыканіи цѣпи, а также *усиленіе* тока, даютъ въ сосѣднемъ проводникѣ токъ обратный, т. е. такой, какой является при *приближеніи*.

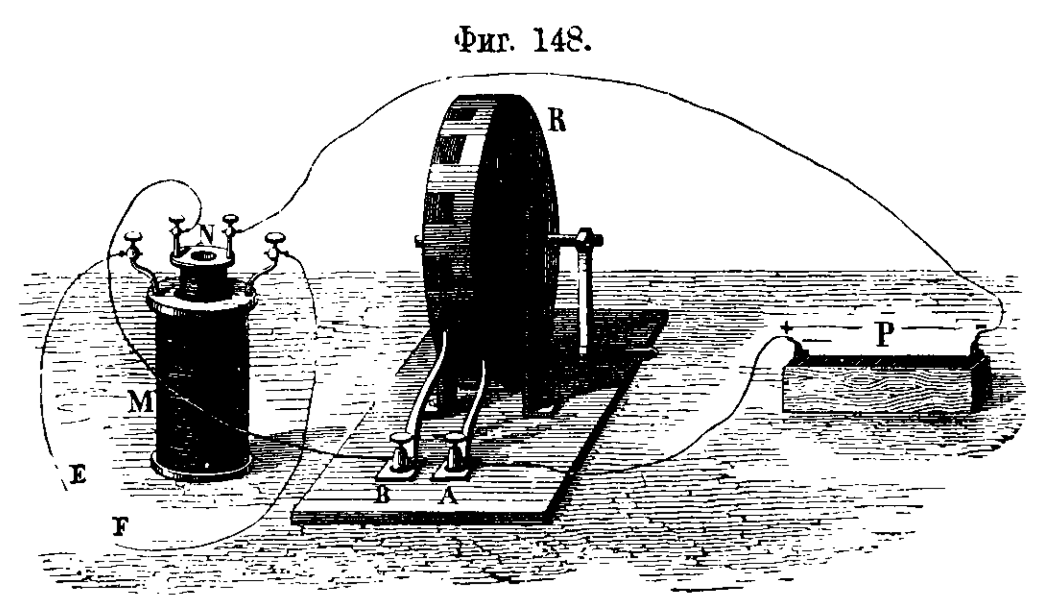
Фиг 147.



Для полученія быстро слѣдующихъ другъ за другомъ индуктированныхъ токовъ можетъ служить приборъ, изображенный на фиг. 148. Токъ батареи *P* проходитъ черезъ катушку *N* и черезъ прерыватель *R*— колесо, окружность котораго покрыта попеременно проводящимъ и не-

проводящимъ веществомъ, которыхъ касаются двѣ пружины, прикрѣпленныя къ зажимнымъ винтамъ *A* и *B*. Легко понять, что, при вращеніи колеса, токъ быстро будетъ замыкаться и размыкаться, причемъ

Фиг. 148.



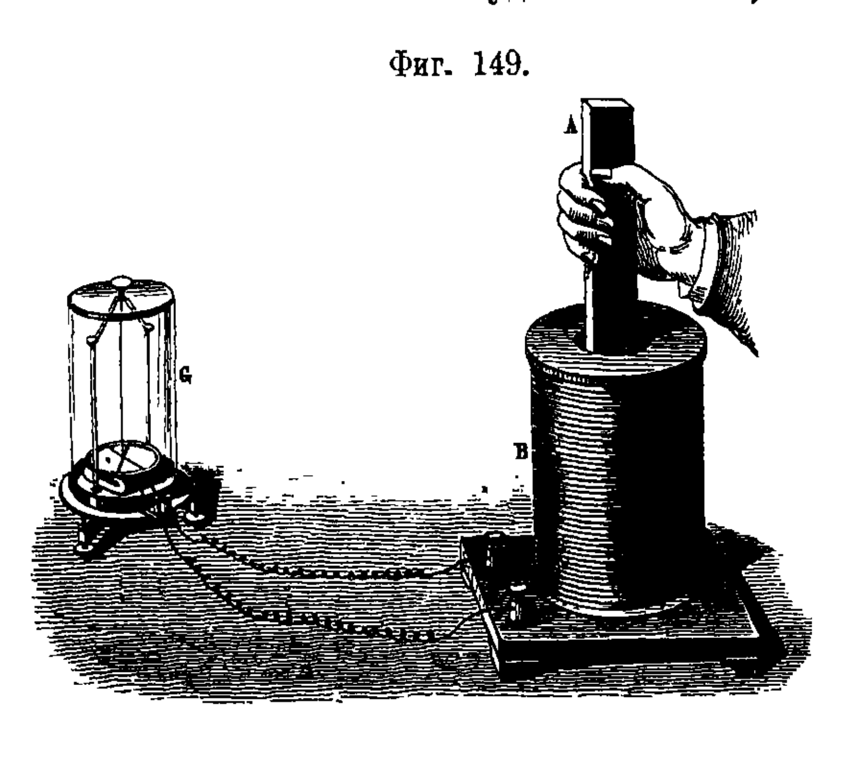
въ другой катушкѣ *M* будутъ индуктироваться кратковременные токи поперемѣнныхъ направленій.

Токъ, индуктированный при размыканіи, т. е. прямой, болѣе кратковременъ и бо́льшаго напряженія, чѣмъ токъ индуктированный при замыканіи. Отчего это происходитъ, мы объяснимъ впослѣдствіи. Разсмотрѣнное явленіе называется *гальванической индукціею*.

Переходимъ къ ученію о *магнито-электрической индукціи*, т. е. о возбужденіи электрическаго тока магнитами.

Что магниты могутъ служить для возбужденія электрическаго тока, въ этомъ нѣтъ ничего удивительнаго, если вспомнить, что магнитъ оказался во всѣхъ отношеніяхъ аналогичнымъ соленоиду, а соленоидъ при приближеніи или удаленіи, при исчезновеніи или появленіи въ немъ тока индуктируетъ токи въ сосѣднихъ проводникахъ. Если въ спиральную проволоку вложить магнитъ и *затѣмъ* соединить ее съ гальванометромъ, то, понятно, никакого тока въ спирали не окажется. Но въ моментъ, когда мы магнитъ вытянемъ изъ спирали (см. фиг. 149), въ послѣдней появится мгновенный токъ, направленія, соотвѣтствующаго случаю удаленія со-

Фиг. 149.



леноида. Наоборотъ, если вставить магнитъ въ спираль, то замѣчается индуктированный токъ обратнаго направленія. То же самое происходитъ, если двигать спираль, окружающую магнитъ. Итакъ, при всякомъ движеніи магнита во всякомъ сосѣднемъ кускѣ металла или въ замкнутой проволокѣ индуктируется токъ. То же самое происходитъ, когда проводникъ движется вблизи магнита.

И здѣсь подтверждается законъ Ленца: токъ индуктируется всегда такого направленія, что взаимодѣйствіе магнита и индуктированнаго тока стремится произвести движеніе, обратное тому, которое имѣетъ мѣсто. При удаленіи магнита въ проводникѣ индуктируется токъ, который притягиваетъ магнитъ, а при приближеніи магнита индуктируется токъ, который отталкиваетъ магнитъ.

Законъ Ленца совершенно согласенъ съ принципомъ сохраненія энергіи. Индуктированный токъ представляетъ собою появленіе электрической энергіи, которая тотчасъ же переходитъ въ теплоту. Эта энергія должна имѣть какой нибудь источникъ; этотъ источникъ есть та лишняя работа, которую приходится произвести при передвиженіи спирали съ токомъ, магнита или проводника, чтобъ преодолѣть препятствующее движенію взаимодѣйствіе между индуктированнымъ токомъ и индуктирующимъ токомъ или магнитомъ. Если напр. удалять магнитъ отъ проводника, то въ послѣднемъ индуктируемъ токъ, который притягиваетъ магнитъ—слѣдовательно, отодвигая магнитъ, мы должны преодолѣть взаимное притяженіе индуктируемаго тока и индуктирующаго магнита, мы должны произвести лишнюю работу, и эта-то лишняя работа и будетъ источникомъ той электрической энергіи, которая проявляется въ сосѣднемъ проводникѣ.

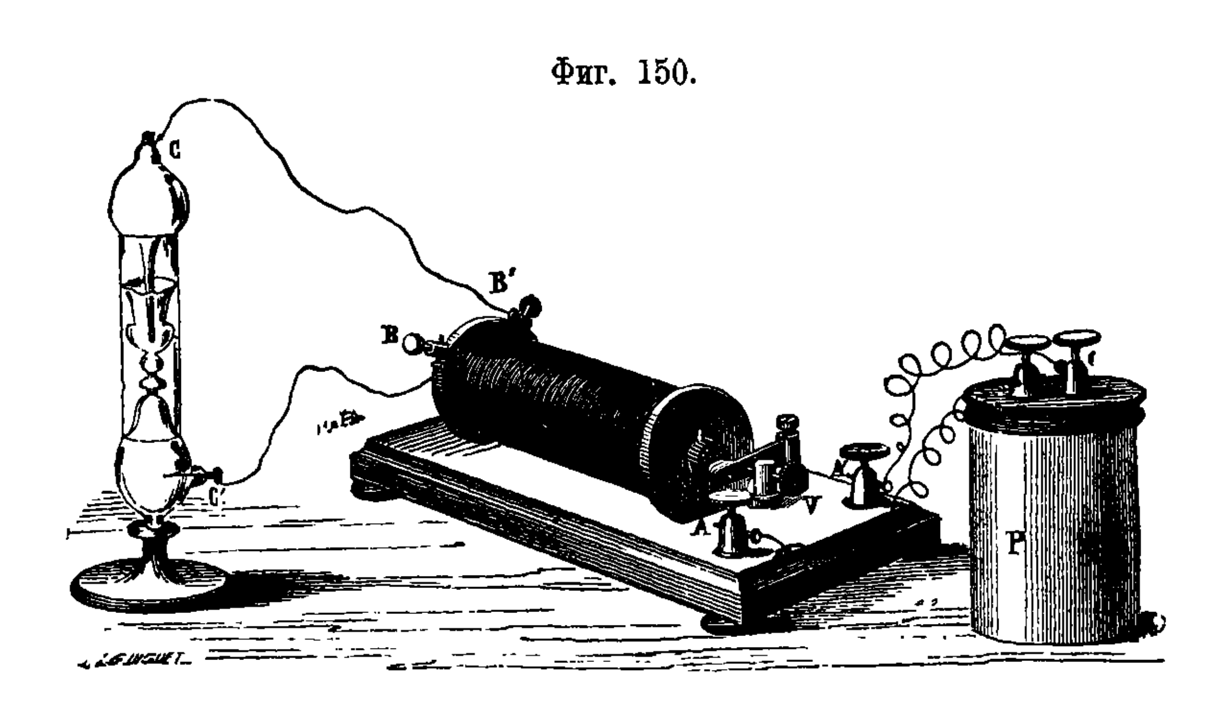
При исчезновеніи и при ослабленіи магнитизма, при появленіи его и при усиленіи, также происходитъ индукція. Если мы якорь магнита обернемъ проволокою, соединенною съ гальванометромъ, то при отрываніи якоря отъ магнита появляется въ проволокѣ сильная индукція вслѣдствіе того, что въ якорѣ, при отрываніи его отъ магнита, исчезаетъ магнитизмъ. Исчезающій магнитизмъ индуктируетъ токъ подобно тому, какъ исчезающій токъ.

Для изученія дѣйствія и характера индуктированныхъ токовъ, необходимо имѣть удобные приборы. Наиболѣе употребителенъ приборъ, называемый, по имени изобрѣтателя, *Румкорфовой спиралью* (фиг. 150) и состоящій изъ двухъ спиралей, непосредственно намотанныхъ одна на другую, причемъ внутренняя обыкновенно изъ болѣе толстой, наружная изъ болѣе тонкой проволоки. Черезъ внутреннюю спираль пропускается токъ отъ батареи. При всякомъ замыканіи и размыканіи тока, въ наружной спирали происходитъ индукція, и если токъ внутренней спирали быстро размыкать и замыкать, то въ наружной спи-

рали индукціи быстро слѣдуютъ другъ за другомъ и кратковременные токи перемѣнныхъ направленій быстро чередуются.

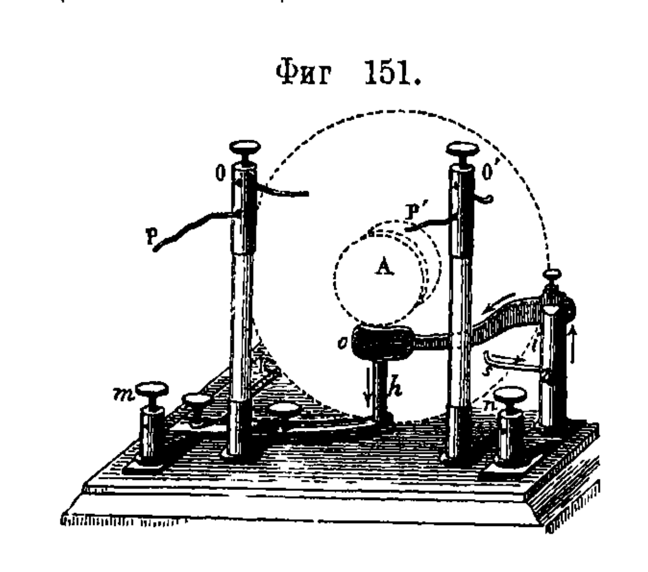
Для быстраго и автоматическаго замыканія и размыканія тока служитъ молоточекъ, устройство котораго понятно изъ фиг. 151. Внутри

Фиг. 150.



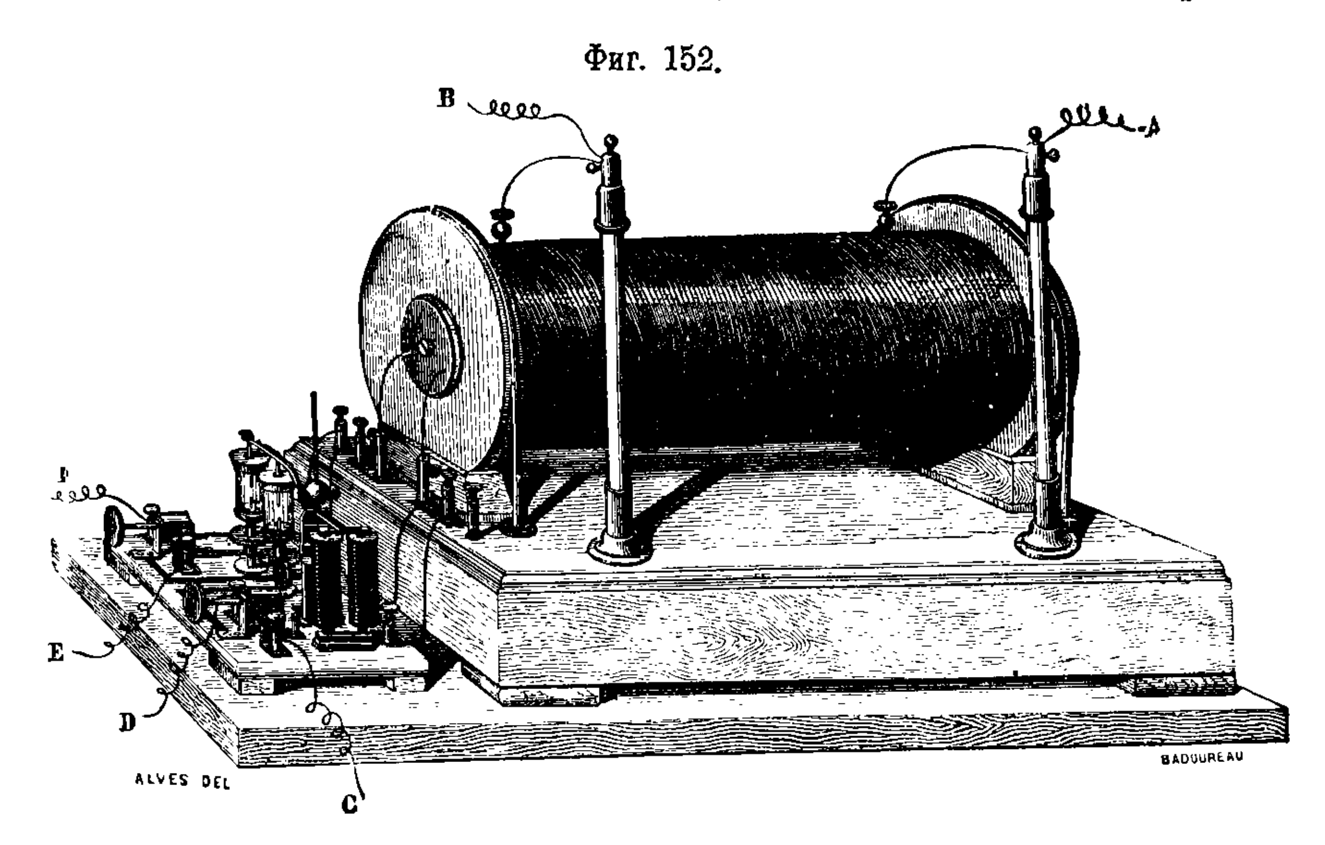
спиралей находится желѣзный стержень или пучекъ желѣзныхъ проволокъ, конецъ котораго представленъ на чертежѣ въ A. Подъ этимъ концемъ помѣщается маленькій желѣзный якорь c, придѣланный къ горизонтальному стержню, который поддерживается вертикальнымъ столбикомъ i. Якорь c снизу упирается на столбикъ h. Токъ проходитъ черезъ ich и черезъ внутреннюю спираль. Желѣзо A внутри спирали намагничивается, якорь c поднимается, вслѣдствіе чего токъ прерывается; тогда притяженіе якоря прекращается, якорь c опять опускается, касается h; токъ замыкается, желѣзо опять намагничивается и т. д. Въ наружной проволокѣ индуктируются, быстро слѣдуя другъ за другомъ, кратковременные, перемѣнныхъ направленій, токи. Вставляя въ винты B и B' (фиг. 150) проволоки, можно пропустить индуктированные токи черезъ какую угодно цѣпь тѣлъ, напр. черезъ трубку, наполненную разрѣженнымъ газомъ, какъ показано на фиг. 150. Характеръ дѣйствія этихъ индуктированныхъ токовъ опредѣляется именно тѣмъ, что эти токи весьма кратковременны и весьма большаго напряженія. Что токи дѣйствительно большаго напряженія—подтверждается тѣмъ, что если разомкнуть концы проволокъ, идущихъ отъ точекъ B и B', то получается

Фиг 151.



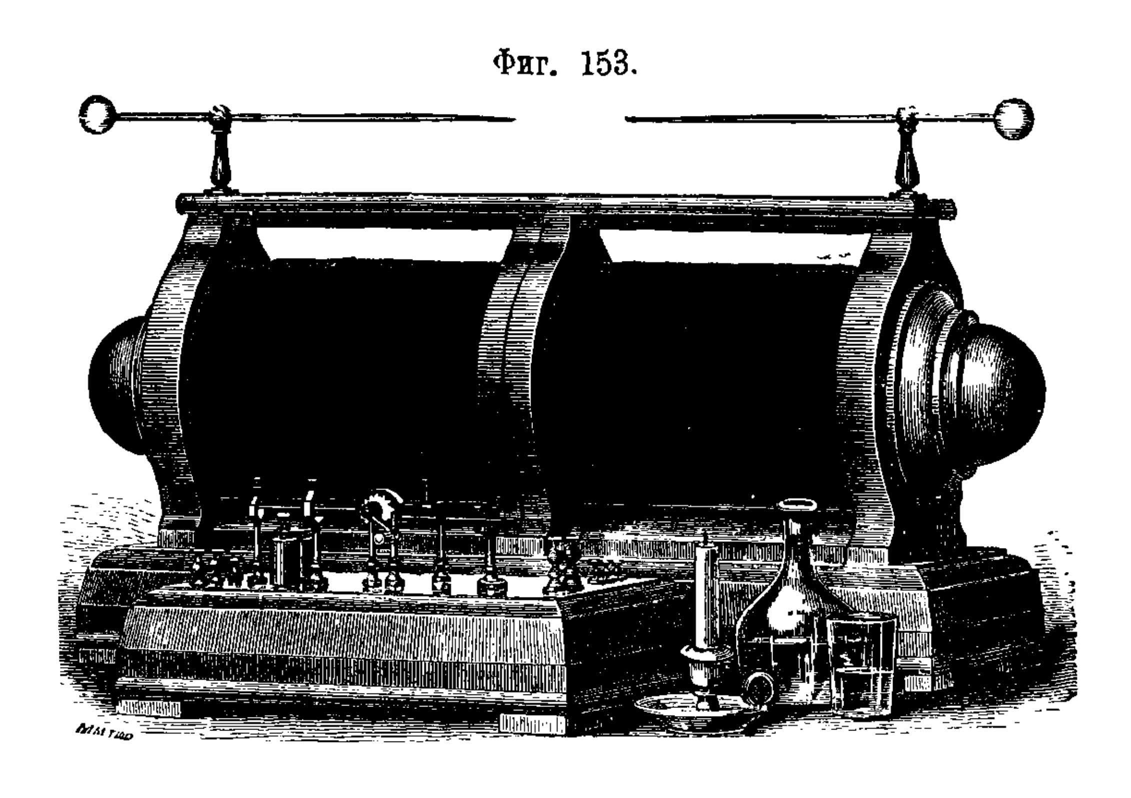
непрерывный рядъ искръ. Между тѣмъ, мы знаемъ, что непосредственно, даже отъ самой сильной батареи, не получаются сколько нибудь замѣтныя искры, если, не замыкая цѣпь, только сблизить электроды.

Фиг. 152.



На фиг. 152 изображена большая Румкорфова спираль, въ которой дѣйствуетъ особенный электромагнитный прерыватель, приводимый въ движеніе токомъ особой батареи; онъ виденъ съ лѣвой стороны чертежа. Въ описаніе его устройства входить не будемъ.

Фиг. 153.

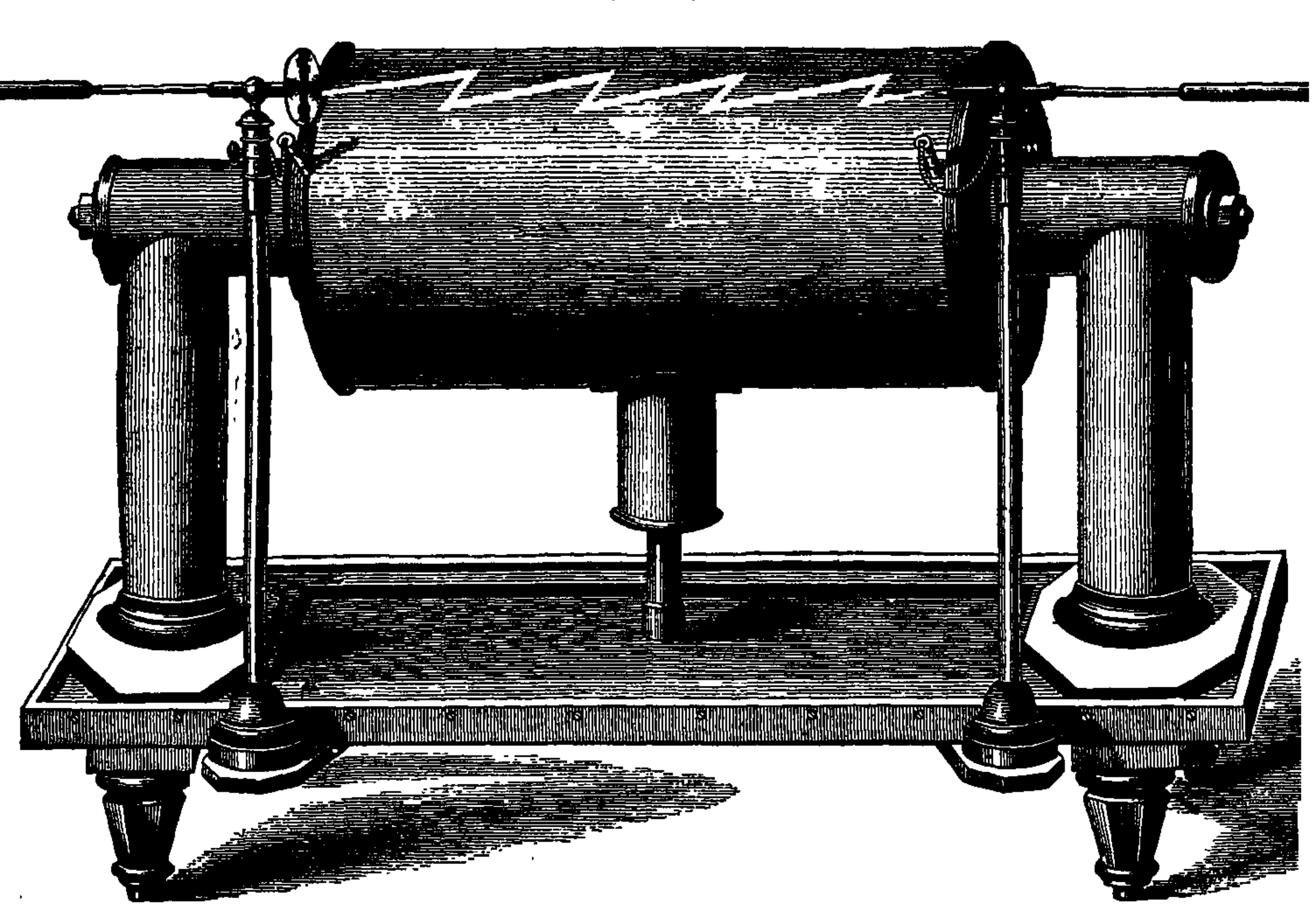


Неоднократно были построены громадныя спирали для полученія индуктированныхъ токовъ весьма высокаго напряженія. На фиг. 153 изображена спираль Ричи, дающая искры до 53 сантим. длины (при

дѣйствіи трехъ элементовъ съ хромовою кислотою). Длина всей спирали 1,2 метра; проволока вѣситъ 52 килогр., весь приборъ 112 килогр. Особенность этой спирали заключается въ томъ, что она раздѣлена на двѣ, рядомъ лежащія, части, которыя можно заставить дѣйствовать отдѣльно или вмѣстѣ. Внутренняя проволока имѣетъ 5 мм. толщины и 60 метровъ длины; наружная 0,2 мм. толщины и 71200 метровъ длины. Онѣ отдѣлены другъ отъ друга стеклянною трубкою.

Громаднѣйшую индукціонную спираль устроилъ г. *Споттисвудъ* въ Англіи; она представлена на фиг. 154. Внутренняя спираль имѣетъ 600 метровъ длины, $2^1/_4$ миллиметра въ діаметрѣ и состоитъ изъ 1344

Фиг 154.



оборотовъ. Наружная спираль имѣетъ 450 километровъ длины и около $^1/_4$ миллиметра въ діаметрѣ и дѣлаетъ 341,850 оборотовъ. Образующійся такимъ образомъ цилиндръ имѣетъ 1 метръ длины и $^1/_2$ метра толщины. Эта спираль даетъ искры длиною до одного метра.

Физіологическія дѣйствія индуктированныхъ токовъ, вслѣдствіе большаго ихъ напряженія, гораздо бо́льшія, чѣмъ дѣйствія постоянныхъ токовъ. Про́пусканіе черезъ человѣческое тѣло токовъ даже отъ малой спирали производитъ невыносимо болѣзненное ощущеніе.

Индукціонные токи могутъ, съ своей стороны, возбуждать въ сосѣднихъ спираляхъ вновь индукціонные токи, такъ называемые индукціонные токи высшаго порядка.

Чрезвычайно замѣчательное явленіе, открытое *Фарадеемъ*, заключается въ слѣдующемъ: если въ цѣпь ввести спиральную проволоку и разомкнуть токъ, то, въ моментъ размыканія, токъ, конечно, исчезаетъ. При этомъ каждый оборотъ спирали индуктируетъ въ сосѣднихъ оборотахъ токъ, какъ мы видѣли, одного направленія съ токомъ исчезающимъ. Этотъ токъ, который появляется такимъ образомъ при размыканіи, называется *экстракуррентомъ.* Въ моментъ исчезновенія, токъ какъ бы самъ себя усиливаетъ Вслѣдствіе этого при размыканіи получается чрезвычайно блестящая искра, если часть проволоки, которую пробѣгаетъ токъ, имѣетъ форму спирали; если же пропустить токъ черезъ прямую проволоку, если напр. развернуть спираль, то при размыканіи столь блестящей искры уже не получится. При замыканіи, появляющійся въ каждомъ оборотѣ спирали, токъ—обратнаго направленія; въ моментъ появленія токъ будетъ самъ себя ослаблять. Вслѣдствіе этого онъ сначала будетъ слабъ и будетъ лишь постепенно усиливаться. Вотъ это и есть причина того, что при размыканіи въ румкорфовой спирали получается сильная индукція: при размыканіи, въ послѣдній моментъ, токъ очень силенъ. При замыканіи индуктирующій токъ дѣйствуетъ самъ на себя; онъ сначала слабъ, медленно усиливается, вслѣдствіе чего и индуктированный токъ болѣе продолжителенъ, но меньшее имѣетъ напряженіе.

Въ 1870 г. *Блазерна* сравнилъ индукціонные токи, получаемые при замыканіи и при размыканіи, и нашелъ, что наибольшее напряженіе тока, индуктируемаго при размыканіи, будетъ въ $3^1/_2$ раза болѣе, чѣмъ наибольшее напряженіе тока, индуктируемаго при замыканіи, а продолжительность послѣдняго въ 2 раза больше продолжительности перваго.

Земля, имѣющая всѣ свойства магнита, можетъ индуктировать токъ, какъ и всякій другой магнитъ. Если вращать спирально свернутую изолированную проволоку, концы которой соединены съ чувствительнымъ гальванометромъ, то легко замѣтить присутствіе тока, индуктированнаго землею въ спирали.

Замѣчательное явленіе, основанное на магнито-электрической индукціи, открыто *Араго* и названо *магнитизмомъ вращенія.* Мѣдное тѣло, напр. горизонтальный кружокъ, заставляютъ двигаться, быстро вращаться, около или подъ магнитомъ, привѣшаннымъ на нити. Тогда и магнитъ начинаетъ вращаться въ ту же сторону. Это явленіе объясняется такъ: когда мѣдь вращается подъ магнитомъ, то въ ней индуктируются токи; въ той части пластинки, которая удаляется отъ магнита, индуктируются токи, притягивающіе магнитъ, а въ той части, которая приближается, индуктируются токи, которые отталкиваютъ магнитъ; слѣдовательно, магнитъ непрерывно подвергается притяженію съ одной стороны и отталкиванію съ другой.

Если, наоборотъ, магнитъ колеблется или вообще движется около большихъ металлическихъ массъ (не магнитныхъ), напр. большаго куска мѣди, то движенія его быстро прекращаются. Это явленіе называется *успокоеніемъ*. Движущійся магнитъ производитъ индукцію въ мѣдной массѣ; въ той части, къ которой онъ приближается, онъ индуктируетъ токи, его отталкивающіе; а въ той части, отъ которой онъ удаляется, онъ индуктируетъ токи, его притягивающіе. Слѣдовательно, во время его движенія, онъ непрерывно будетъ сзади притягиваться, спереди отталкиваться; результатъ будетъ—остановка, успокоеніе. Для того, чтобы въ гальванометрахъ магнитныя стрѣлки быстро останавливались, ихъ окружаютъ большими мѣдными массами (*успокоителями*).

Изслѣдовать и формулировать законы взаимодѣйствія токовъ и индукціи есть задача *электродинамики*. На электродинамикѣ подтверждается то, что въ первой лекціи было сказано о значеніи гипотезъ. Для того, чтобъ гипотеза, служащая для объясненія явленій, могла быть признана вѣроятною, необходимо, чтобъ она одна хорошо объясняла явленія. Если же цѣлый рядъ гипотезъ одинаково хорошо объясняютъ явленія, то, во всякомъ случаѣ, дать какой нибудь изъ нихъ предпочтеніе весьма затруднительно. Оказывается, что можно сдѣлать безчисленное множество различныхъ предположеній относительно закона: какъ элементъ тока, т. е. весьма малый отрѣзокъ тока дѣйствуетъ на другой элементъ тока и какъ онъ дѣйствуетъ при индукціи; всѣ эти предположенія приводятъ къ одному и тому же результату относительно взаимодѣйствія замкнутыхъ токовъ и ихъ индукціонныхъ дѣйствій. Такъ напр., гипотеза Вебера предполагаетъ, что взаимодѣйствіе двухъ электрическихъ «частицъ» будетъ пропорціонально произведенію количествъ электричества, въ нихъ содержащихся, и обратно пропорціонально квадрату разстоянія, когда онѣ въ покоѣ; если же частицы въ движеніи, то сила взаимодѣйствія измѣняется и величина этой силы зависитъ не только отъ разстоянія, но и отъ скорости и ускоренія ихъ относительнаго движенія.

Эта гипотеза и цѣлый рядъ другихъ приводятъ относительно замкнутаго тока къ одному и тому же результату, согласному съ данными, полученными изъ опытовъ. Поэтому до сихъ поръ вопросъ объ основной электродинамической гипотезѣ рѣшенъ быть не можетъ, не смотря на то, что разработкѣ этого вопроса посвящены работы весьма многихъ изъ наиболѣе выдающихся ученыхъ.

ЛЕКЦІЯ XI.

Діамагнитизмъ. Парамагниты и діамагниты, твердые, жидкіе и газообразные. Законъ Плюкера Теорія и опытъ Вебера. Электродіамагнитизмъ и діамагнито-электричество. *Электродвигатели* Ричи, Эггера. Лодка Якоби. *Магнито-электрическія машины.* А) Съ постояннымъ токомъ. Машины Штерера, Сименса, Вильда. Кольцо Пачинотти-Грамма; машина Грамма. Катушка Сименса; машина Сименса. Б) Съ перемѣннымъ токомъ. Машины Alliance и Меританса. *Динамо-электрическія машины.* А) Съ постояннымъ токомъ. Принципъ Сименса и Витстона. Машины Грамма, Сименса (Гефнеръ-Альтенека), Бреша, Эдисона. Б) Съ перемѣннымъ токомъ. Машина Грамма, самовозбуждающаяся машина Грамма, машина Сименса, машина Гордона *Передача работы электричествомъ.*

О діамагнитизмѣ.

Въ 1845 году *Фарадей* доказалъ, что почти всѣ тѣла подвержены дѣйствію весьма сильнаго магнита. Оказывается, что всѣ тѣла можно раздѣлить на двѣ группы: тѣла одной—въ родѣ желѣза, стали, никкеля и т. д. (см. стр. 48)—притягиваются магнитомъ; это группа *парамагнитовъ*; тѣла другой группы магнитомъ отталкиваются. Тѣла этой группы называются *діамагнитами.*

Изъ металлическихъ тѣлъ, принадлежащихъ къ группѣ парамагнитовъ, назовемъ: желѣзо, сталь, никкель, кобальтъ, марганецъ, хромъ, палладій, платину, осмій, церій и титанъ. Къ діамагнитнымъ металламъ принадлежатъ: висмутъ, сурьма, цинкъ, олово, кадмій, ртуть, свинецъ, серебро, мѣдь, золото, мышьякъ, уранъ, родій, иридій и вольфрамъ. Къ парамагнитнымъ тѣламъ принадлежатъ изъ неметаллическихъ тѣлъ: бумага, фарфоръ, асбестъ, турмалинъ и т. д. Къ діамагнитнымъ: сѣра, селенъ, ледъ, воскъ, стекло, дерево, мясо, листья, сахаръ, крахмалъ, гумми-арабикъ, слоновая кость, резинка, каучукъ, яблоко, хлѣбъ, соли хрома, горный хрусталь, исландскій шпатъ, квасцы и др. Сильный магнитъ дѣйствуетъ и на жидкія тѣла; для опыта надъ ними, ихъ помѣщаютъ въ стеклянныя трубочки или пузырьки. При этомъ оказывается, что къ парамагнитамъ принадлежатъ растворы разныхъ солей, напр. солей желѣза; къ діамагнитамъ: алькоголь, вода, эфиръ, сѣрная кислота, азотная кислота, молоко, кровь, оливковое масло, скипидаръ. Изъ газообразныхъ тѣлъ діамагнитами оказываются: углекислота, окись углерода, хлоръ, ціанъ, водородъ, болотный газъ, амміачный газъ и др.

Всѣмъ извѣстенъ, конечно, играющій столь важную роль въ ученіи о жидкостяхъ, законъ Архимеда, заключающійся въ томъ, что всякое тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость.

Плюкеръ открылъ подобный-же законъ, существующій относительно парамагнитизма и діамагнитизма тѣлъ. *Если парамагнитное*

тѣло повѣсить въ парамагнитную жидкость (или газъ), напр. кусокъ желѣза въ растворъ хлористаго желѣза, то парамагнитное его напряженіе уменьшается, и *онъ теряетъ какъ разъ столько парамагнитизма, сколько имѣлъ парамагнитизма вытѣсненный имъ объемъ жидкости* (или газа). Слѣдовательно, если помѣстить парамагнитное тѣло въ столь-же сильно парамагнитную жидкость, то тѣло потеряетъ весь свой парамагнитизмъ, магнитъ не будетъ на него дѣйствовать.

То же самое относится и къ діамагнитнымъ тѣламъ. Діамагнитныя тѣла, помѣщенныя въ діамагнитной средѣ, теряютъ столько діамагнитизма, сколько его имѣлъ вытѣсненный ими объемъ жидкости.

Если-же тѣло съ парамагнитнымъ свойствомъ помѣстить въ діамагнитную среду, то парамагнитное свойство его увеличится на столько, сколько въ объемѣ жидкости, имъ вытѣсненномъ, заключается діамагнитизма. Если, наоборотъ, въ парамагнитную жидкую среду помѣстить тѣло діамагнитное, то въ немъ діамагнитизмъ увеличится на столько, сколько имѣетъ парамагнитизма вытѣсненное имъ количество жидкости. Наконецъ, если парамагнитное тѣло помѣстить въ среду болѣе парамагнитную, чѣмъ самое тѣло, то, по закону Плюкера, тѣло должно терять парамагнитнаго свойства болѣе, чѣмъ оно его имѣетъ, и въ результатѣ оказывается, что парамагнитное тѣло въ еще болѣе парамагнитной средѣ дѣлается діамагнитомъ.

Такъ, напр., кусокъ висмута, помѣщенный въ воздухѣ, отталкивался магнитомъ съ силою въ 785 мгр.; помѣщенный же въ водѣ, т. е. въ діамагнитной средѣ, онъ отталкивался магнитомъ съ меньшею силою, а именно: 745 мгр. Но если діамагнитный висмутъ помѣстить въ парамагнитную среду хлористаго желѣза, то діамагнитизмъ его увеличится и сила отталкиванія дѣлается равною 885 мгр.

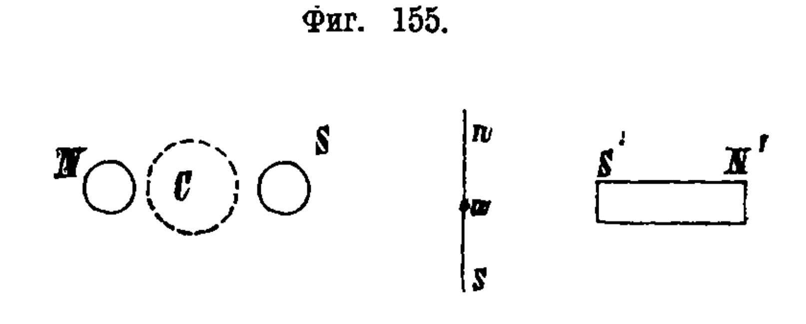
Если стержень изъ какого нибудь вещества на шелковинкѣ повѣсить горизонтально между полюсами сильнаго электромагнита, то онъ расположится по направленію прямой, соединяющей полюсы (положеніе «*полярное*») въ томъ случаѣ, если вещество, изъ котораго сдѣланъ стержень, будетъ парамагнитомъ; если же стержень будетъ изъ вещества, обладающаго свойствомъ діамагнитнымъ, то онъ будетъ отталкиваться обоими полюсами, и приметъ положеніе перпендикулярное къ прямой, соединяющей полюсы (положеніе «*экваторіальное*»).

Это явленіе впервые было объяснено *Веберомъ* слѣдующимъ образомъ: мы знаемъ, что если къ сѣверному магнитному полюсу приблизить кусокъ желѣза, то въ ближайшемъ его концѣ образуется южный полюсъ, т. е. вообще неодноименный и два неодноименные полюса затѣмъ притягиваются. Если же къ полюсу сильнаго магнита приблизить діамагнитное тѣло, *то въ ближайшемъ концѣ* послѣдняго *образуется одноименный полюсъ*, вслѣдствіе чего и происходитъ понятное отталкиваніе. Что дѣйствительно электромагнитъ, и вообще сильный магнитъ, на діа-

магнитъ дѣйствуетъ какъ разъ противоположно, чѣмъ на парамагнитъ, было доказано замѣчательнымъ опытомъ Вебера.

Положимъ (фиг. 155), что два кружка N и S изображаютъ, если сверху смотрѣть, полюсы сильнаго электромагнита. Вблизи, на остріе, помѣщается магнитная стрѣлка ns; южный полюсъ S электромагнита будетъ притягивать къ себѣ сѣверный полюсъ n этой стрѣлки. Что бы стрѣлка ns оставалась въ начерченномъ положеніи, съ боку помѣщается еще сильный магнитъ $N'S'$, обращенный южнымъ полюсомъ къ стрѣлкѣ; два южныхъ полюса S и S' будутъ притягивать къ себѣ сѣверный полюсъ n въ противоположныя стороны, такъ что стрѣлка останется неподвижною. Если теперь между полюсами N и S электромагнита помѣстить кусокъ висмута C (обозначенъ на чертежѣ пунктиромъ), то оказывается, что сѣверный полюсъ стрѣлки перемѣстится налѣво, т. е. притянется висмутомъ; это доказываетъ, что на правой сторонѣ висмута, обращенной *къ южному* полюсу S магнита, образовался новый *южный* полюсъ.

Фиг. 155.



Если бы мы, вмѣсто висмута, помѣстили кусокъ желѣза между полюсами S и N, то на правой его сторонѣ образовался бы сѣверный полюсъ, и магнитная стрѣлка отклонилась бы въ противоположную сторону (сѣверный полюсъ на право).

Тиндаль доказалъ существованіе *электродіамагнитизма*, т. е. доказалъ, что если діамагнитный стержень (напр. изъ висмута) обвить спиральною проволокою и черезъ нее пропустить сильный токъ, то стержень намагничивается, какъ мы это видѣли въ случаѣ стержня желѣзнаго; но тамъ, гдѣ въ желѣзѣ образовался бы сѣверный полюсъ, въ висмутѣ образуется южный полюсъ.

Тиндаль доказалъ также существованіе *діамагнито-электричества*. Соотвѣтственно магнито-электрическимъ токамъ, которые индуктируются движущимся магнитомъ, діамагнито-электрическіе токи суть такіе, которые возбуждаются движущимся намагниченнымъ діамагнитомъ въ сосѣднихъ проводникахъ. Но и при этомъ оказывается, что напр. движущійся намагниченный стержень висмута (электродіамагнитъ) индуктируетъ въ проволокѣ токъ такого направленія, которое доказываетъ, что въ висмутовомъ стержнѣ находится южный полюсъ тамъ, гдѣ въ желѣзномъ стержнѣ при тѣхъ же условіяхъ находился бы сѣверный полюсъ.

Веберъ старался объяснить, отчего, при приближеніи напр. сѣвернаго полюса магнита, въ ближайшемъ концѣ діамагнита образуется одноименный полюсъ. По теоріи Ампера, магнитизмъ объясняется присут-

ствіемъ элементарныхъ токовъ, окружающихъ частицы тѣла; мы допускаемъ далѣе, что въ ненамагниченномъ желѣзѣ уже существуютъ такіе элементарные токи, которые при намагничиваніи вращаются и стремятся стать параллельными къ индуктирующимъ токамъ. Веберъ полагаетъ, что въ діамагнитахъ, напр. въ висмутѣ, частицы не окружены такими токами, но что существуетъ въ нихъ способность къ появленію такихъ токовъ. Если мы кусокъ висмута приближаемъ къ магниту, то послѣдній индуктируетъ въ висмутѣ токи, которые не существовали раньше и въ этотъ моментъ только проявляются. Мы видѣли, что при приближеніи вообще индуктируются обратные токи; слѣдовательно, приближая діамагнитъ къ сѣверному полюсу, около его частичекъ индуктируются токи обратнаго направленія—слѣдовательно, образуется одноименный полюсъ.

Относительно численныхъ величинъ слѣдуетъ замѣтить, что діамагнитизмъ даже наиболѣе сильныхъ діамагнитовъ, какъ напр. висмута, еще въ милліонъ разъ слабѣе магнитизма желѣза.

Растворы и жидкости были изслѣдованы *Г. Видеманомъ*, который нашелъ, что магнитизмъ жидкости пропорціоналенъ количеству растворенной соли и, вообще, уменьшается съ повышеніемъ температуры.

Замѣчательны слѣдующіе факты: бромистая мѣдь есть тѣло парамагнитное; между тѣмъ, мѣдь и бромъ діамагниты. Хромъ парамагнитъ, а соли хрома діамагниты.

Сильные электромагниты дѣйствуютъ на пламя, причемъ ясно обнаруживается, что газы, изъ которыхъ состоитъ пламя, суть тѣла діамагнитныя.

Электродвигатели.

Электродвигателями называются такія машины, которыя приводятся въ движеніе дѣйствіемъ электрическихъ токовъ. Во всѣхъ электродвигателяхъ имѣются электромагниты, которые взаимно притягиваются или отталкиваютъ другъ-друга, или нѣкоторыя куски желѣза, и тѣмъ приводятъ какія-либо части прибора во вращательное движеніе, которое затѣмъ можетъ быть передаваемо дальше. Одно время полагали, что электромагнитныя машины имѣютъ большую будущность, но потомъ оказалось, что дороговизна матеріаловъ, израсходуемыхъ батареями, не соотвѣтствуетъ той пользѣ, которую можетъ принести электромагнитная машина, и только въ послѣднее время, когда были изобрѣтены динамоэлектрическія машины, которыя представляютъ болѣе дешевый способъ добыванія электричества, и когда оказалось, что динамоэлектрическая машина можетъ замѣнить собою электромагнитный двигатель, приведеніе машинъ въ движеніе посредствомъ электрическаго тока получило право гражданства и несомнѣнно огромную будущность.

Еще въ 1829 г. Едличка построилъ первый электромагнитный двигатель; затѣмъ Даль-Негро въ 1834, Якоби въ 1835 г. и т. д.

Одинъ изъ наиболѣе простыхъ электромагнитныхъ двигателей былъ устроенъ *Ричи* въ 1837 г. Приборъ состоитъ изъ неподвижнаго, вертикально, полюсами вверхъ, установленнаго сильнаго магнита, надъ которымъ можетъ вращаться полюсами внизъ электромагнитъ. Когда токъ пропускается черезъ катушки этого электромагнита, на его нижнихъ концахъ образуются два полюса. Тогда одноименные полюсы магнита и электромагнита будутъ отталкиваться, разноименные притягиваться и электромагнитъ начнетъ вращаться. Но въ моментъ, когда онъ повернется на столько, что разноименные полюсы придутся какъ разъ одинъ противъ другого, направленіе тока въ катушкахъ перемѣняется, такъ что перемѣнятся полюсы электромагнита; тогда очевидно, что два полюса, только что притягивавшіеся, взаимно будутъ отталкиваться. Вслѣдствіе этого электромагнитъ далѣе повернется (на 180°). Въ моментъ, когда вновь разноименные полюсы будутъ находиться одинъ противъ другого, направленіе тока вновь измѣнится и понятно, что подъ вліяніемъ такого измѣненія направленія тока, повторяющагося черезъ каждый оборотъ электромагнита, послѣдній будетъ находиться въ постоянномъ вращеніи, которое затѣмъ можетъ быть передаваемо валу и колесу. Особеннымъ образомъ устроенная часть прибора, называемая коммутаторомъ, производитъ перемѣну направленія тока въ надлежащіе моменты.

Якоби весьма много занимался устройствомъ различныхъ электромагнитныхъ двигателей.

Очень хорошъ приборъ *Эггера*: онъ состоитъ изъ двухъ или четырехъ электромагнитовъ, вертикально установленныхъ рядомъ. Надъ каждымъ изъ нихъ находится по желѣзному якорю; они попеременно притягиваются электромагнитами, чѣмъ и приводится въ движеніе колесо.

Нѣкоторые электромагнитные двигатели основаны на втягиваніи желѣзнаго стержня въ двѣ спирали (при пропусканіи тока черезъ послѣднія, расположенныя противъ двухъ его концовъ). Въ тотъ моментъ, когда стержень втянутъ въ одну изъ спиралей, токъ въ ней прекращается и появляется въ другой спирали, вслѣдствіе чего стержень попеременно притягивается то одною, то другою спиралью: движеніе стержня взадъ и впередъ приводитъ затѣмъ колесо во вращательное движеніе.

Въ 1838 г. Якоби построилъ лодку, которая двигалась на Невѣ. Сильная батарея приводила во вращательное движеніе колеса Лодка имѣла 28 ф. длины и $7^1|_2$ ф. ширины и шла со скоростью 4 верстъ въ часъ. Въ 1839 г. онъ повторилъ этотъ опытъ съ 64 элементами цинкъ-платина; при этомъ лодка дѣлала 3 версты въ часъ противъ теченія.

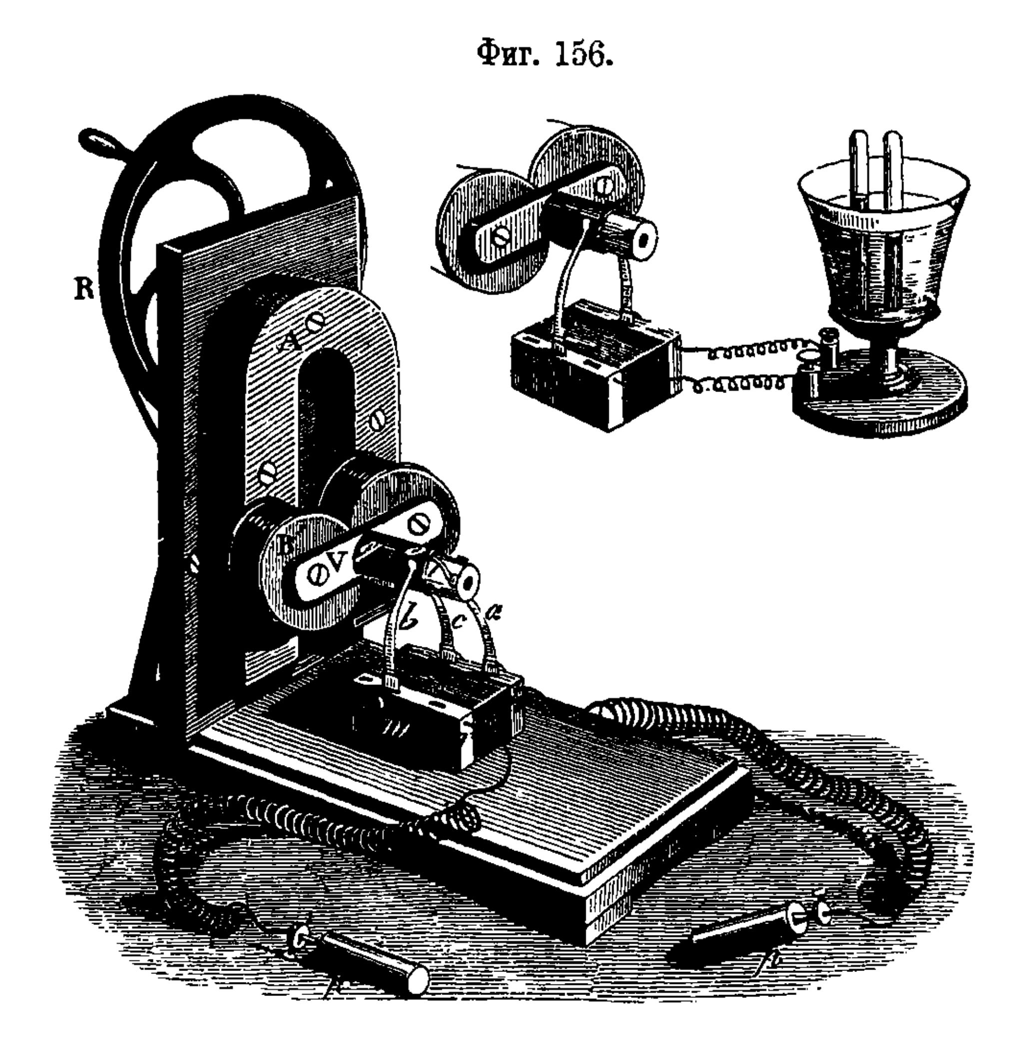
Въ Парижѣ, во время электрической выставки 1881 г., затѣмъ въ Лондонѣ и наконецъ въ Вѣнѣ, также во время электрической выставки 1883 г., лодки съ людьми были приводимы въ движеніе электричествомъ.

Магнито-электрическія машины.

А. Съ постояннымъ направленіемъ тока.

Мы видѣли въ предъидущей лекціи, что при движеніи замкнутой спирали вблизи магнитнаго полюса, въ ней индуктируются токи, которые усиливаются въ томъ случаѣ, когда внутри спирали будутъ находиться желѣзные стержни. Эти стержни, двигаясь мимо полюсовъ магнита, будутъ то намагничиваться, то размагничиваться или перемѣнять

Фиг. 156.

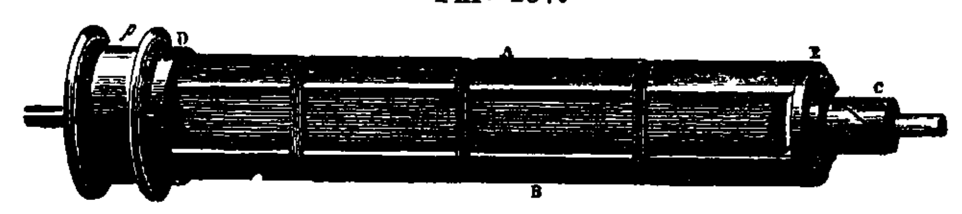


полюсы. Вслѣдствіе этого стержни, съ своей стороны, будутъ индуктировать токи въ спирали, такъ что, въ результатѣ, въ нихъ получатся весьма сильные индуктированные токи. На этомъ основаны *магнито-электрическія машины*, т. е. машины, въ которыхъ получается токъ движеніемъ спиралей мимо магнитовъ.

Одна изъ такихъ машинъ представлена на фиг. 156; это машина *Клерка*. Она состоитъ изъ большаго, вертикально установленнаго стальнаго магнита *A*. На горизонтальной оси, проходящей посреди между вѣтвями магнита, вращаются двѣ катушки *B* и *B'*, надѣтыя на желѣзные стержни. Посредствомъ малаго колеса, надѣтаго на ту же ось (внизу), ремня и большаго колеса *R*, снабженнаго рукояткою, катушки

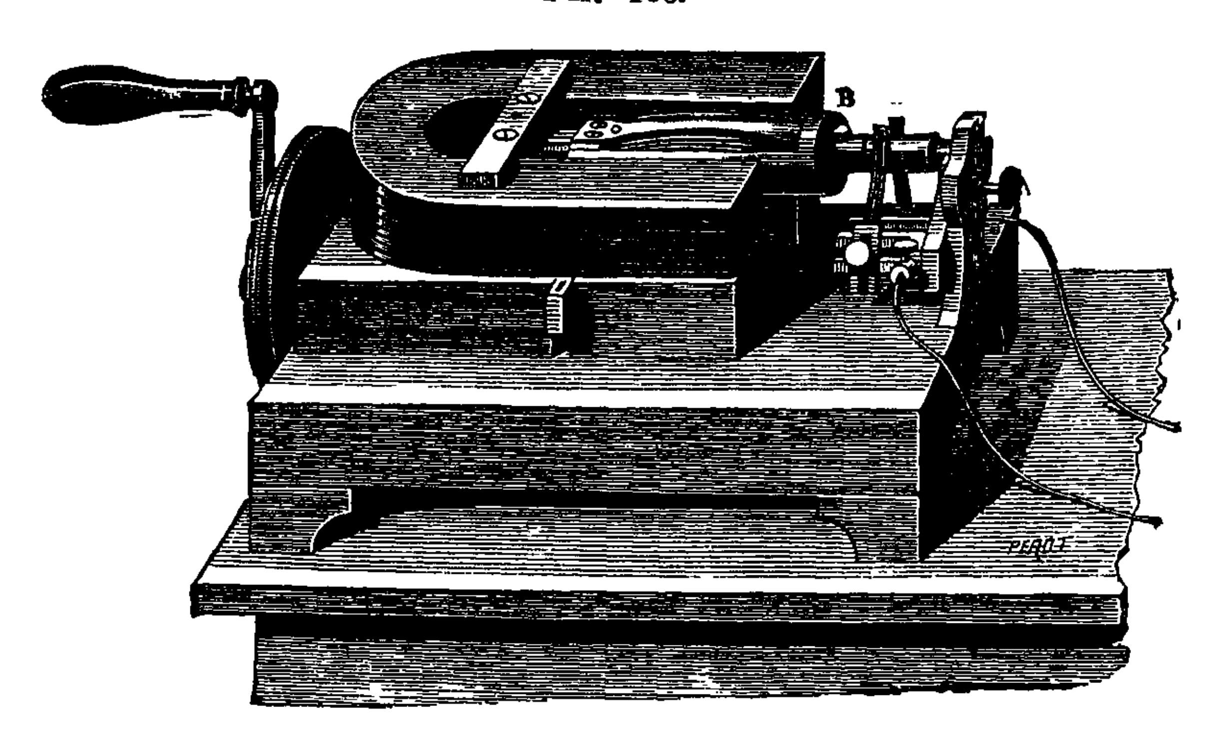
приводятся въ быстрое вращеніе. При этомъ желѣзные стержни непрерывно намагничиваются и перемагничиваются, вслѣдствіе чего, а также вслѣдствіе непосредственнаго дѣйствія стальныхъ магнитовъ на движущіяся спирали, въ послѣднихъ индуктируются токи перемѣнныхъ направленій. Коммутаторъ *a*, *b*, *c*, *d*, устройство котораго разсматривать не будемъ, дѣлаетъ то, что въ цѣпи, заключенной между *p* и *p′*, получается токъ постояннаго направленія.

Фиг. 157.



Сименсъ видоизмѣнилъ устройство индукціонной катушки, взявъ цѣлый рядъ параллельно поставленныхъ подковообразныхъ магнитовъ.

Фиг. 158.



Между ихъ полюсами онъ помѣстилъ длинную катушку, изображенную на фиг. 157. Ея желѣзный сердечникъ имѣетъ форму цилиндра, съ широкой продольной вырѣзкой вдоль двухъ противоположныхъ сторонъ. Въ эти вырѣзки навивается мѣдная изолированная проволока. При вращеніи катушки, въ этой проволокѣ индуктируются токи.

На фиг. 158 изображенъ магнитный индукторъ *Марсель Депре* Между полюсами сильнаго магнита находится катушка *B*, весьма мало, по устройству, отличающаяся отъ катушки Сименса. Приводя ее въ быстрое вращательное движеніе, мы, во внѣшней цѣпи, получаемъ сильный токъ.

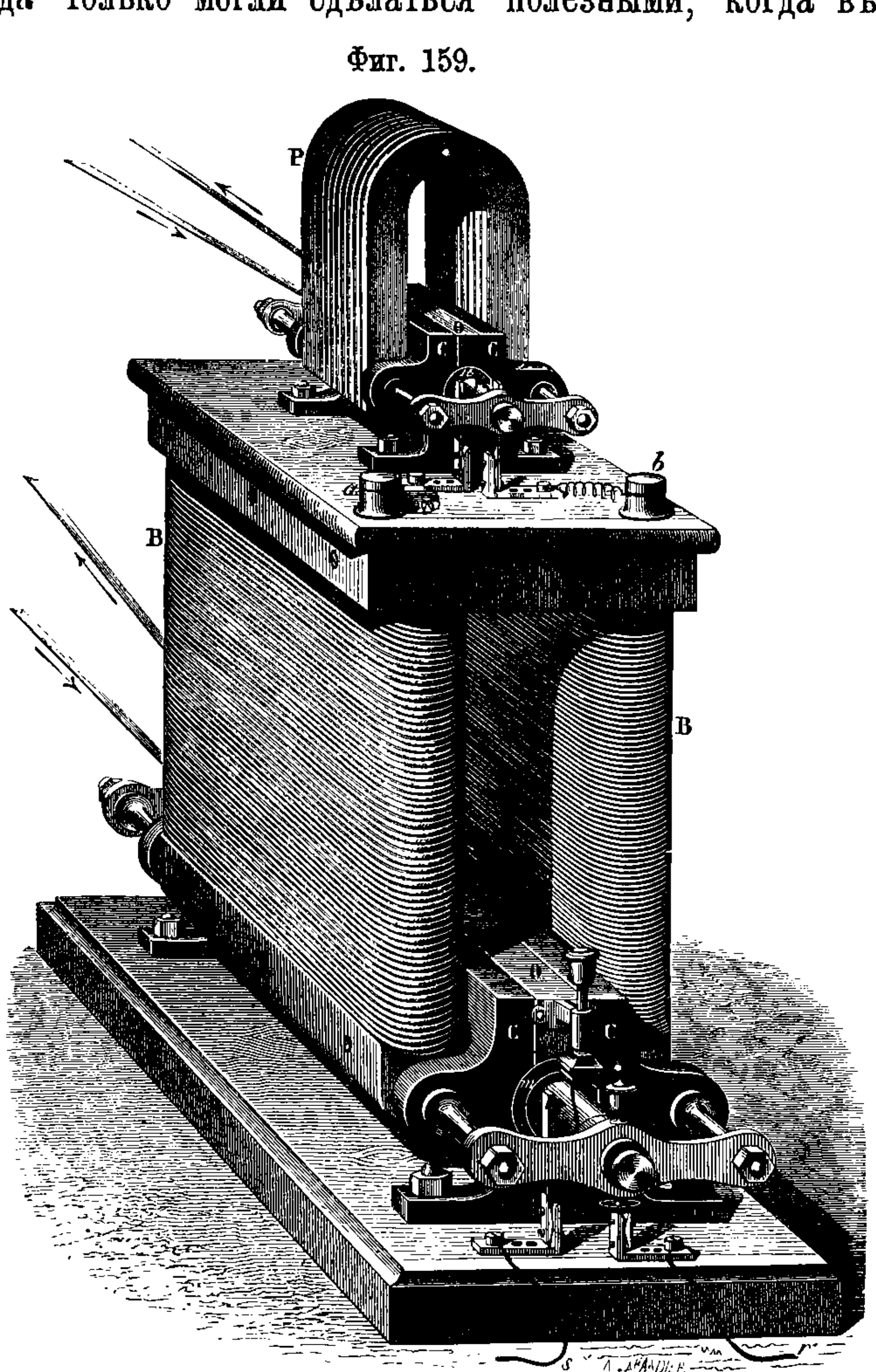
Вильде построилъ магнито-электрическую машину (фиг. 159), состоящую собственно изъ двухъ машинъ Сименса, помѣщенныхъ одна надъ другой, только въ нижней, *P*, стальные магниты были замѣнены од-

нимъ широкимъ электромагнитомъ. Токъ, получаемый въ верхней катушкѣ, Вильде пропускаетъ черезъ нижній электромагнитъ, между полюсами котораго находится вторая катушка. При вращеніи нижней катушки получается въ ней уже весьма сильный токъ.

Обѣ катушки приводились въ движеніе паровою машиною.

Магнито-электрическія машины тогда только получили развитіе и значеніе, тогда только могли сдѣлаться полезными, когда въ 1871 г.

Фиг. 159.

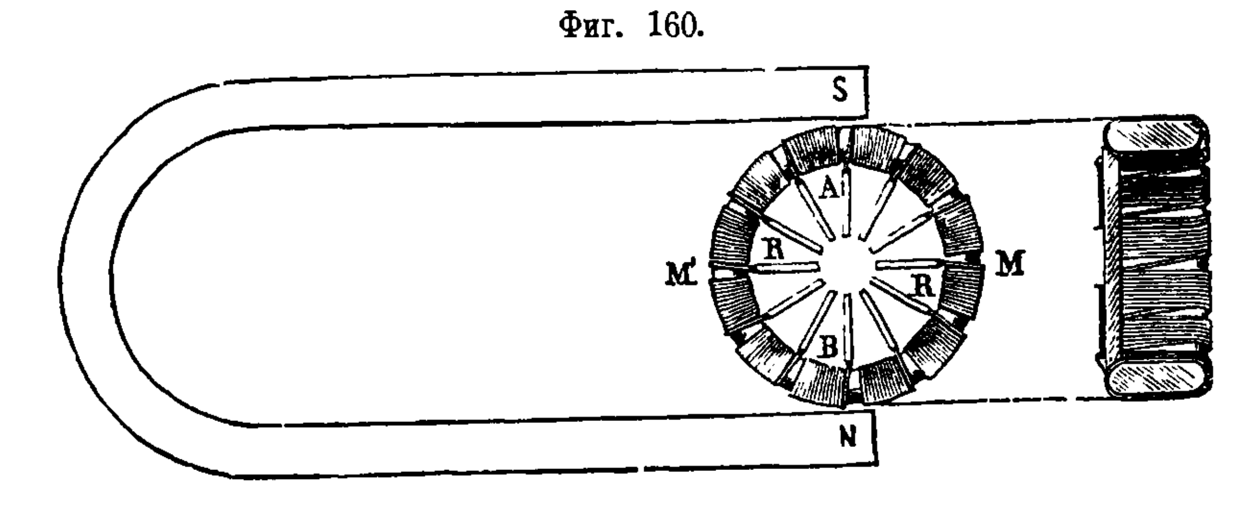


Граммъ изобрѣлъ знаменитое свое кольцо, которое въ настоящее время составляетъ самую существенную часть большинства магнито-электрическихъ и динамо-электрическихъ машинъ. Слѣдуетъ, впрочемъ, упомянуть, что еще въ 1861 г. итальянецъ *Пачинотти* сдѣлалъ, въ сущности, то же самое изобрѣтеніе, оставшееся тогда, къ сожалѣнію, почти незамѣченнымъ. Чтобы понять дѣйствіе кольца Грамма, представимъ себѣ

прямой хотя бы вертикально поставленный магнитъ и узкую спираль изолированной проволоки. Проведемъ эту спираль, держа ее горизонтально, быстро сверху внизъ, такъ чтобъ она окружала магнитъ. Пока спираль будетъ сверху приближаться къ верхнему, положимъ, сѣверному полюсу, и затѣмъ дальше опускаться внизъ до пояса безразличія магнита, въ ней будетъ индуктироваться токъ одного направленія. При движеніи спирали еще дальше внизъ, начиная отъ пояса безразличія, будетъ индуктироваться токъ противнаго направленія.

Представимъ себѣ теперь желѣзное кольцо (фиг. 160), помѣщенное между полюсами *N* и *S* сильнаго магнита; положимъ, что это кольцо во всю длину обмотано проволокою. Мѣсто *A* кольца, которое будетъ ближайшимъ къ южному полюсу *S*, будетъ содержать въ себѣ сѣверный магнитный полюсъ; въ точкѣ *B* будетъ находиться южный полюсъ. Очевидно, что, во время вращенія кольца, магнитизмы въ указанныхъ

Фиг. 160.

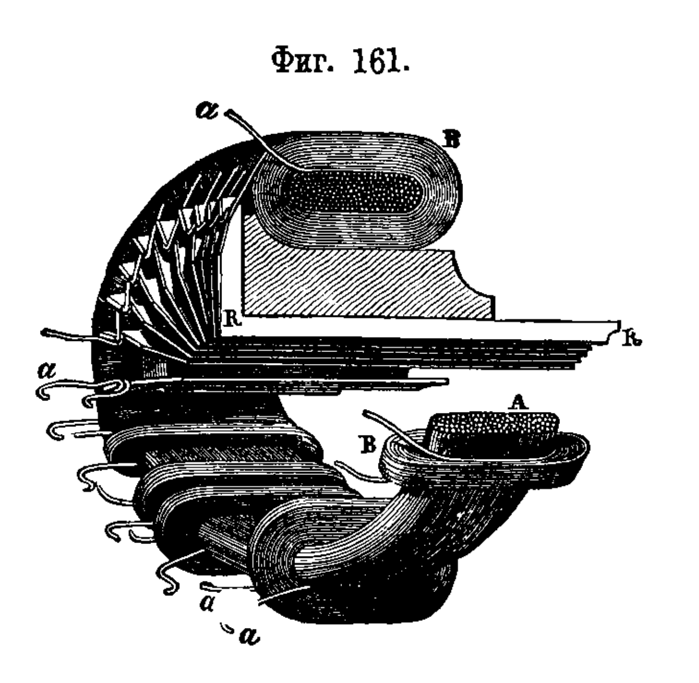


частяхъ желѣзнаго кольца исчезнутъ, какъ только эти части отъ полюсовъ удалятся; зато другія, подходящія къ полюсамъ, части кольца, будутъ намагничиваться, такъ что можно себѣ представить, что, хотя кольцо вращается, но два полюса остаются какъ бы неподвижными въ пространствѣ въ мѣстахъ, ближайшихъ къ полюсамъ *N* и *S*. Надъ этими, неподвижными въ пространствѣ, полюсами непрерывно проходятъ обороты проволоки, обвитой вокругъ кольца.

Кольцо можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ полукруглыхъ магнитовъ *AMB* и *AM'B*, имѣющихъ оба у *A* сѣверный, у *B* южный полюсы и въ *M* и *M'* поясы безразличія; однако при вращеніи кольца эти два магнита остаются неподвижными. Тогда въ каждый моментъ на одной половинѣ кольца, напр. *MAM'*, въ проволокѣ индуктируется токъ одного направленія, напр. отъ *M* къ *M'*, а въ другой половинѣ *M'BM* токъ обратнаго направленія, т. е. опять отъ *M* къ *M'*. Еслибъ въ этотъ моментъ отъ точекъ *M* и *M'* шла замкнутая цѣпь, то въ ней получился бы сильный токъ отъ *M'* къ *M*. Для полученія этого тока, необходимо въ *M* и *M'* сдѣлать отвѣтвленія. Однако въ слѣдующій моментъ кольцо нѣсколько повернется, отвѣтвленія передвинутся, между

тѣмъ какъ токъ можетъ быть опять полученъ только отъ точекъ *M* и *M'*, равно удаленныхъ отъ полюсовъ. Чтобы во время быстраго вращенія кольца непрерывно имѣть токъ въ цѣпи, отвѣтвляющейся, въ точкахъ *M* и *M'*, отъ спирали, намотанной на кольцѣ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Въ большомъ числѣ мѣстъ припаиваютъ къ проволокѣ короткія полоски, которыя сперва направлены по радіусу кольца (см. чертежъ), а затѣмъ перегнуты подъ прямымъ угломъ, такъ что образуется цилиндръ другъ отъ друга изолированныхъ проволокъ, перпендикулярныхъ къ плоскости чертежа. На фиг. 161 изображена часть кольца Грамма въ полуразобранномъ видѣ. Внутреннее желѣзо *A* образуется изъ тонкой желѣзной проволоки, свернутой въ видѣ кольца. На это кольцо навивается рядъ катушекъ (иногда болѣе ста), изъ которыхъ нижнія на чертежѣ изображены раздвинутыми. Кольцо съ катушками насаживается на деревянный цилиндръ, къ которому прикрѣплены рядъ прямоугольно загнутыхъ мѣдныхъ полосокъ *RR*. Къ

Фиг. 161.

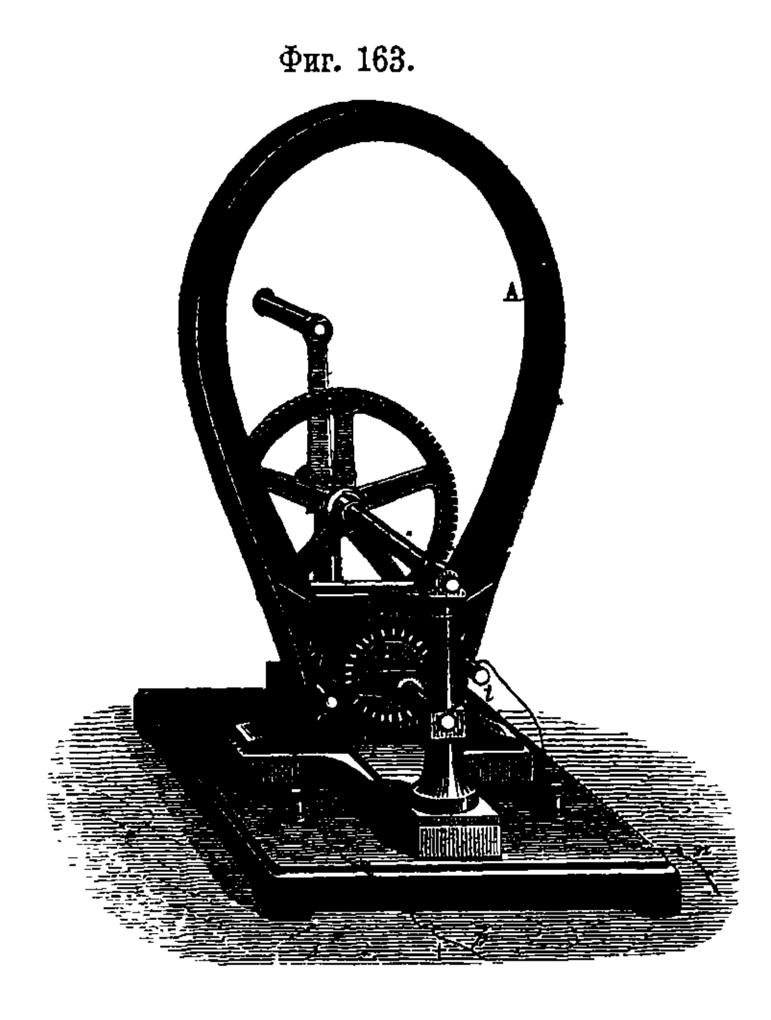


Фиг. 162.

концу каждой полоски присоединяются концы двухъ сосѣднихъ катушекъ, т. е. конецъ одной и начало другой.

На фиг. 162-й изображена *машина Грамма*; магнитъ *SON*, кольцо *AMBM'* и цилиндръ проволокъ, перпендикулярныхъ къ плоскости кольца. Этого-то цилиндра, называемаго *коллекторомъ*, касаются съ двухъ сторонъ т. наз. *щетки*, состоящія изъ пучковъ мѣдной проволоки, плотно прилегающихъ къ цилиндру. На чертежѣ хорошо видны эти двѣ, вертикально поставленныя щетки, соединенныя съ двумя зажимными винтами, между которыми вводится цѣпь. Понятно, что, при вращеніи колеса, коллекторы касаются всегда тѣхъ двухъ проволокъ, которыя отвѣтвлены отъ точекъ *M* и *M'*, что̀ и требуется. Рукояткою и системою зубчатыхъ колесъ колесо Грамма приводится въ быстрое вращеніе, причемъ во внѣшней цѣпи получается непрерывный токъ постояннаго направленія.

Фиг. 163.



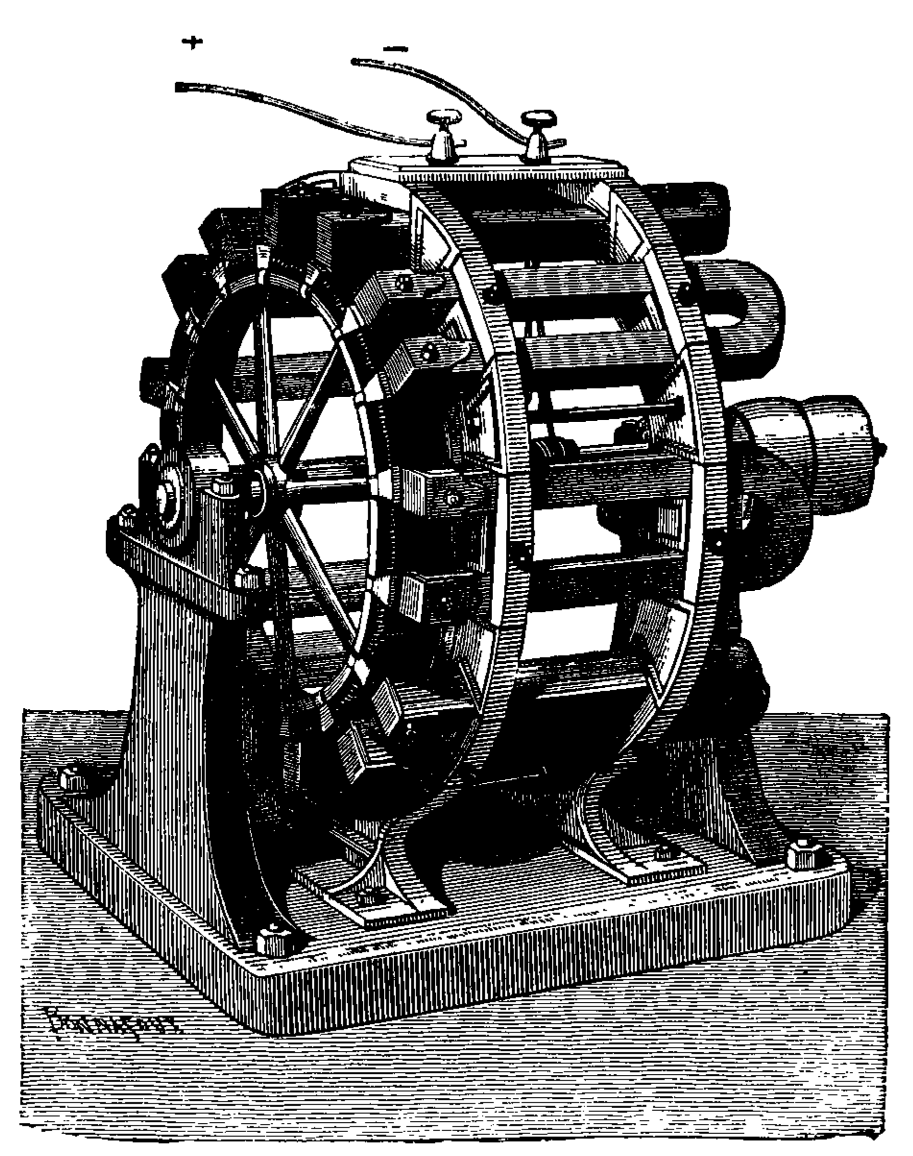
На фиг. 163-й изображена магнито-электрическая машина Грамма съ вертикально поставленнымъ магнитомъ Жамена (фиг. 38, стр. 49); кольцо и коллекторъ со щетками хорошо видны на чертежѣ.

Магнито-электрическая машина *Сименса* основана на томъ же принципѣ, только вмѣсто кольца въ ней имѣется т. наз. катушка Сименса, состоящая изъ продолговатаго желѣзнаго стержня, во всю длину особеннымъ образомъ обмотаннаго проволокою (такъ что обороты проволоки идутъ по направленію длины стержня). Конецъ катушки можно видѣть на фиг. 169, изображающей динамо-электрическую машину Сименса. Далѣе вмѣсто одного магнита имѣются два ряда подковообразныхъ магнитовъ. Полюсы одного ряда обращены къ одноименнымъ полюсамъ другаго.

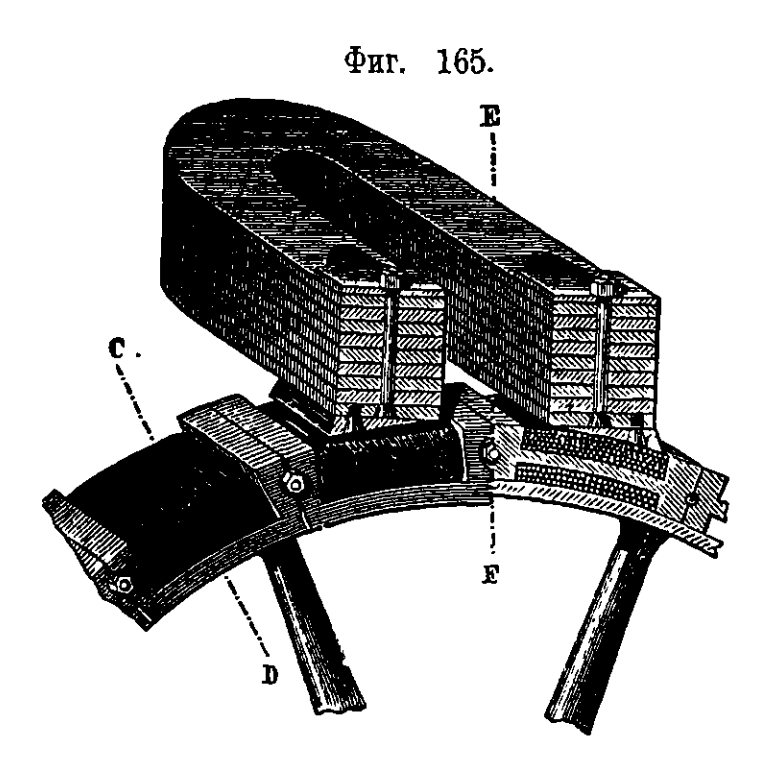
B. Съ перемѣннымъ токомъ.

Перемѣннымъ принято называть такой токъ, направленіе котораго весьма часто мѣняется, такъ что онъ, въ сущности, состоитъ изъ огромнаго числа (до нѣсколькихъ сотъ въ секунду), кратковременныхъ токовъ, поперемѣнно противоположныхъ направленій. На стр. 140-й уже было

указано на случай, когда необходимо пользоваться перемѣннымъ токомъ — при освѣщенiи свѣчами Яблочкова.


Фиг. 164.

Первая магнито-электрическая машина съ перемѣннымъ токомъ была построена еще въ концѣ пятидесятыхъ годовъ — это машина *Alliance*. Она состоитъ изъ 56 большихъ магнитовъ, расположенныхъ въ восемь рядовъ вокругъ вращающагося цилиндра съ 96 катушками. Въ 1863 г. эта машина была принята для электрическаго освѣщенiя Гевскихъ маяковъ и у насъ въ Одессѣ. Она вѣситъ 122 пуда, цилиндръ приводится во вращенiе паровою машиною въ 4 силы и дѣлаетъ до 450 оборотовъ въ минуту. Машина можетъ дать свѣтъ до 2500 стеариновыхъ свѣчей. Въ 1878 г. была изобрѣтена магнитоэлектрическая машина съ перемѣннымъ токомъ *Меритансомъ*. Она состоитъ (фиг. 164) изъ 8 большихъ магнитовъ, между полюсами которыхъ вращается колесо, по устройству напоминающее кольцо Грамма, но состоящее изъ 16-ти отдѣльныхъ секцiй. Одинъ магнитъ и три секцiи представлены отдѣльно на фиг. 165 и притомъ правая секцiя въ разрѣзѣ; въ ней видно ядро, на которое намотана проволока; оно состоитъ изъ многихъ сложенныхъ вмѣстѣ желѣзныхъ плитокъ въ 1 м.м. толщины



Фиг. 165.

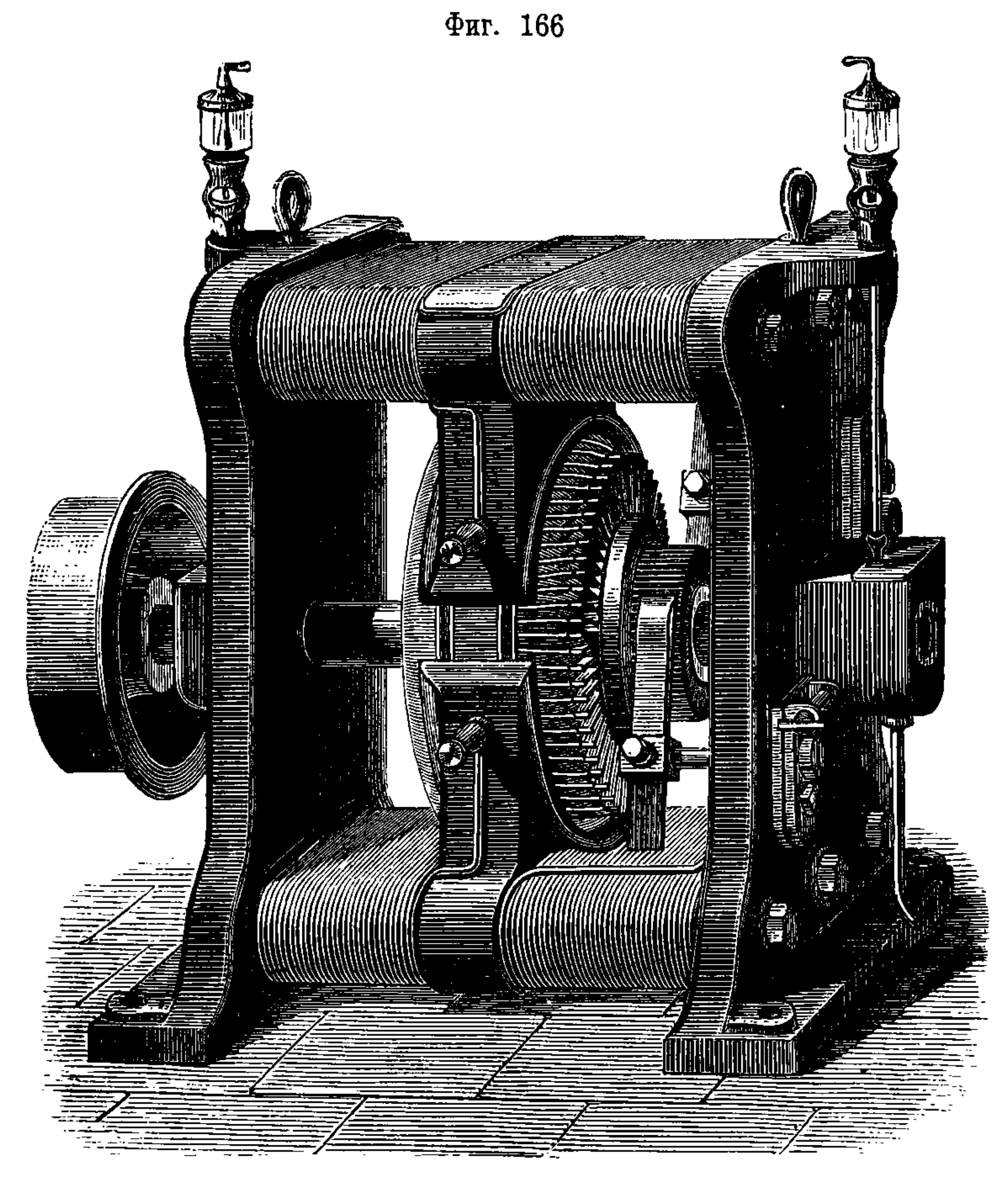
каждая. Въ моментъ движенія колеса во всѣхъ секціяхъ индуктируются токи, которые соединяются въ одинъ сильный токъ, проведенный къ зажимнымъ винтамъ, которые видны на верху черт. 164. Когда колесо повернется на $^1/_{16}$ оборота, получается опять токъ, но уже обратнаго направленія, такъ какъ всѣ секціи будутъ расположены противъ другихъ полюсовъ, чѣмъ въ предъидущій моментъ.

Динамо-электрическія машины.

А. Съ постояннымъ направленіемъ тока.

Динамо-электрическія машины отличаются отъ магнито-электрическихъ тѣмъ, что въ нихъ нѣтъ вовсе готовыхъ стальныхъ магни-

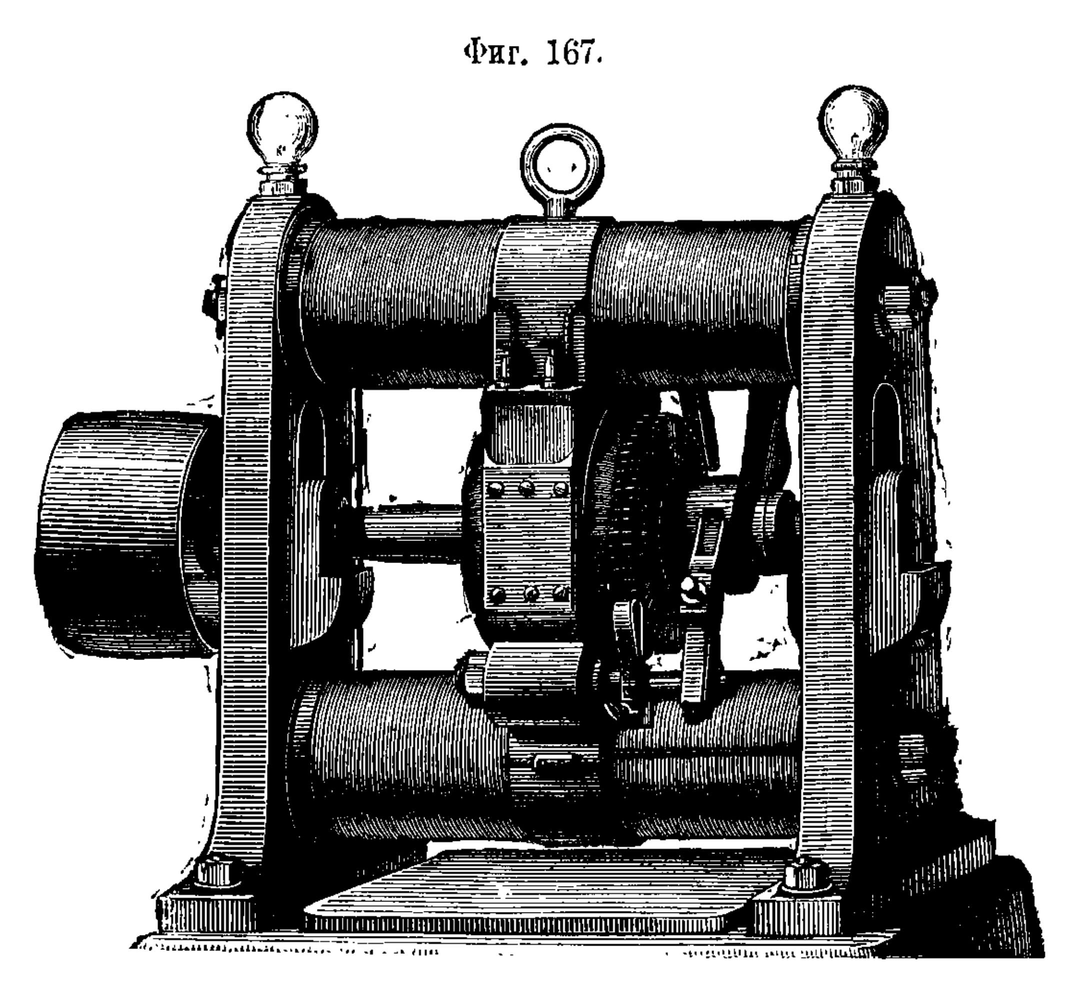
Фиг. 166



товъ. Магниты эти въ нихъ замѣнены электро-магнитами, т. е. желѣзными стержнями, обвитыми изолированною проволокою. Токъ, который

получается въ кольцѣ, проходитъ, между прочимъ, черезъ обмотку электро-магнита. Это можетъ показаться страннымъ, такъ какъ для полученія тока въ кольцѣ магниты уже должны дѣйствовать. Но дѣло въ томъ, что желѣзо электро-магнитовъ всегда содержитъ въ себѣ хотя бы ничтожный слѣдъ магнитизма—отъ прежнихъ намагничиваній или отъ дѣйствія земнаго магнитизма. Когда кольцо начинаетъ вращаться, оставшійся въ желѣзѣ слѣдъ магнитизма будетъ возбуждать въ кольцѣ токъ, хотя, конечно, очень слабый. Этотъ токъ, между прочимъ, проходитъ черезъ обмотку электро-магнита и нѣсколько усиливаетъ его намагничи

Фиг. 167.



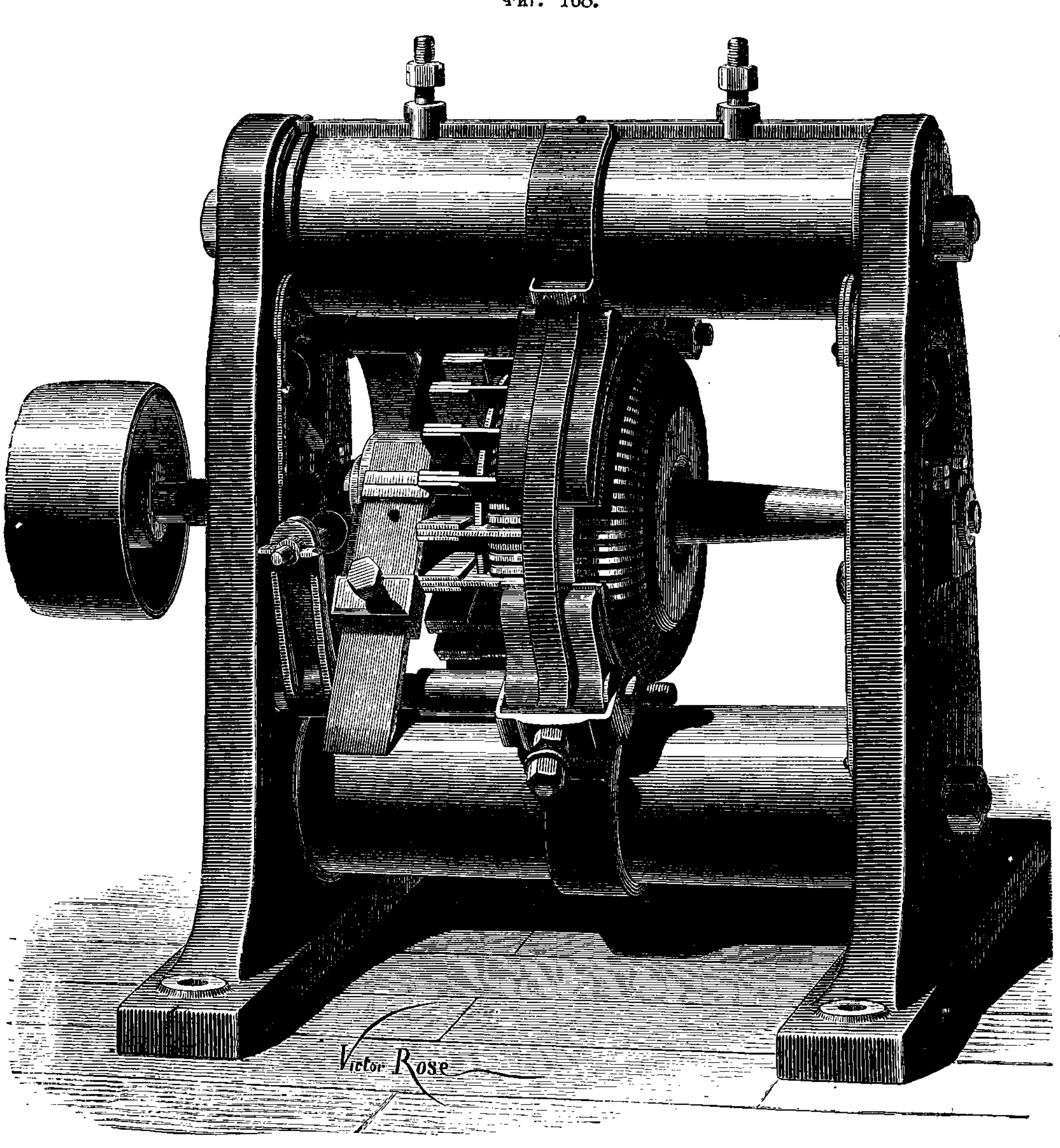
ванье. Вслѣдствіе этого его индуктивное дѣйствіе также нѣсколько усиливается, получается болѣе сильный токъ, который его еще сильнѣе намагничиваетъ. Понятно, что, продолжая разсуждать такимъ образомъ, мы увидимъ, что электро-магнитъ какъ бы самъ себя весьма сильно намагнититъ. Продолжая быстрое вращеніе кольца, мы получимъ весьма сильный электро-магнитъ, который самъ себя поддерживаетъ и въ кольцѣ Грамма или катушкѣ Сименса индуктируетъ сильный токъ.

Принципъ такого самонамагничиванья динамо-электрическихъ машинъ въ одинъ и тотъ-же день, 14 февраля 1867 года, былъ предложенъ *Сименсомъ* въ Берлинѣ и *Витстономъ* въ Лондонѣ.

На фиг. 166 представлена динамо-электрическая *машина Грамма*. Между двумя вертикальными чугунными стойками расположены сверху и снизу горизонтальныя вѣтви двухъ электромагнитовъ, сложенныхъ одноимеными полюсами; проволока намотана въ такомъ направленіи,

что одинъ полюсъ образуется посреди наверху, другой-же — посреди внизу. Чугунныя стойки служатъ при этомъ какъ бы основаніями этихъ двухъ электромагнитовъ. Полюсы обхватываютъ кольцо Грамма

Фиг. 168.

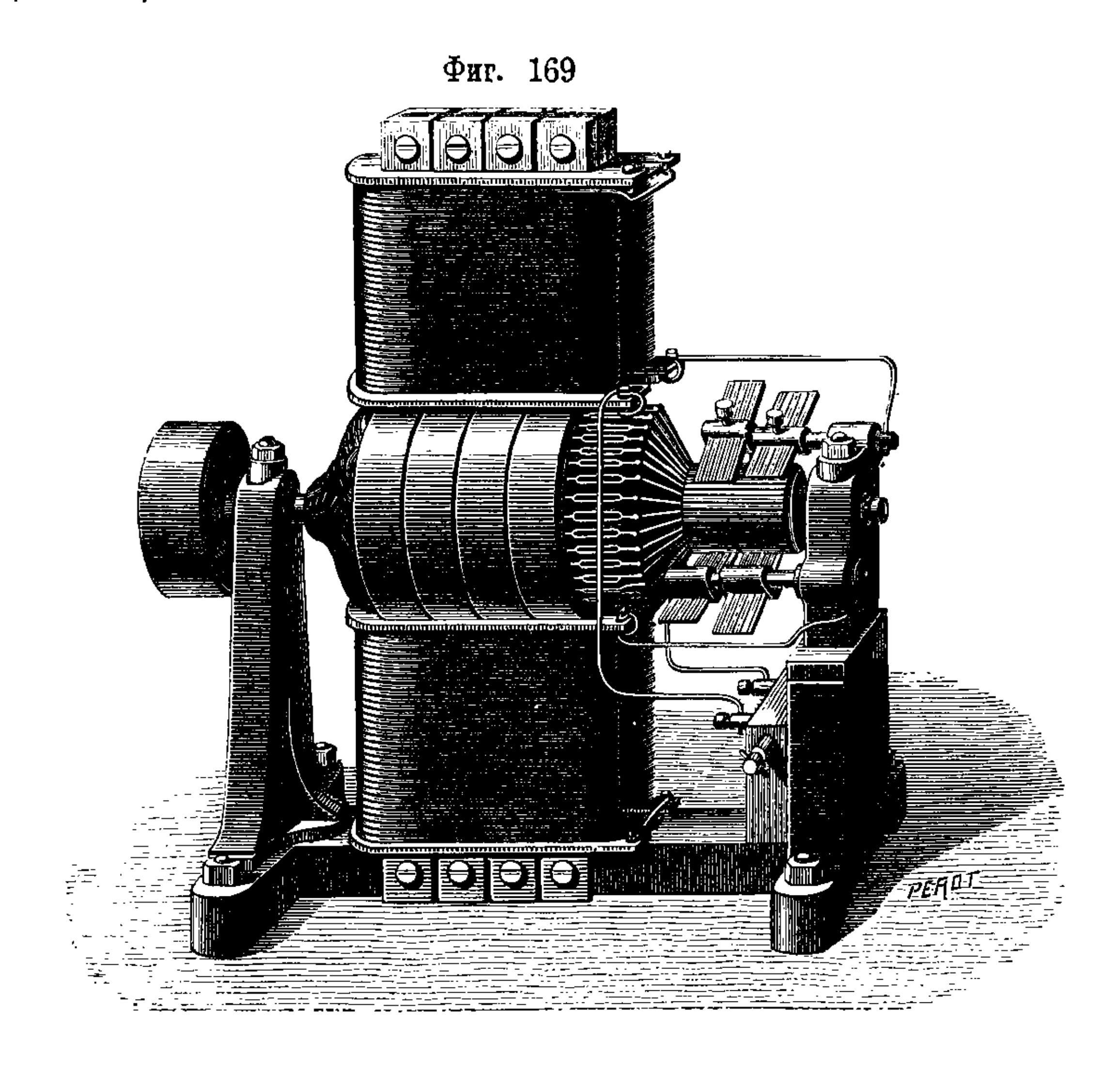


болѣе, чѣмъ на $^1/_3$ сверху и снизу. На чертежѣ легко можно видѣть раздѣленіе кольца на секторы, коллекторъ и скользящія по немъ щетки.

Подобная-же машина, но съ круглыми электромагнитами представлена на фиг. 167. Полюсы электромагнитовъ скрѣплены двумя мѣд-

ными пластинками, привинченными, каждая, шестью винтами и служащими для защиты кольца.

Фиг. 169

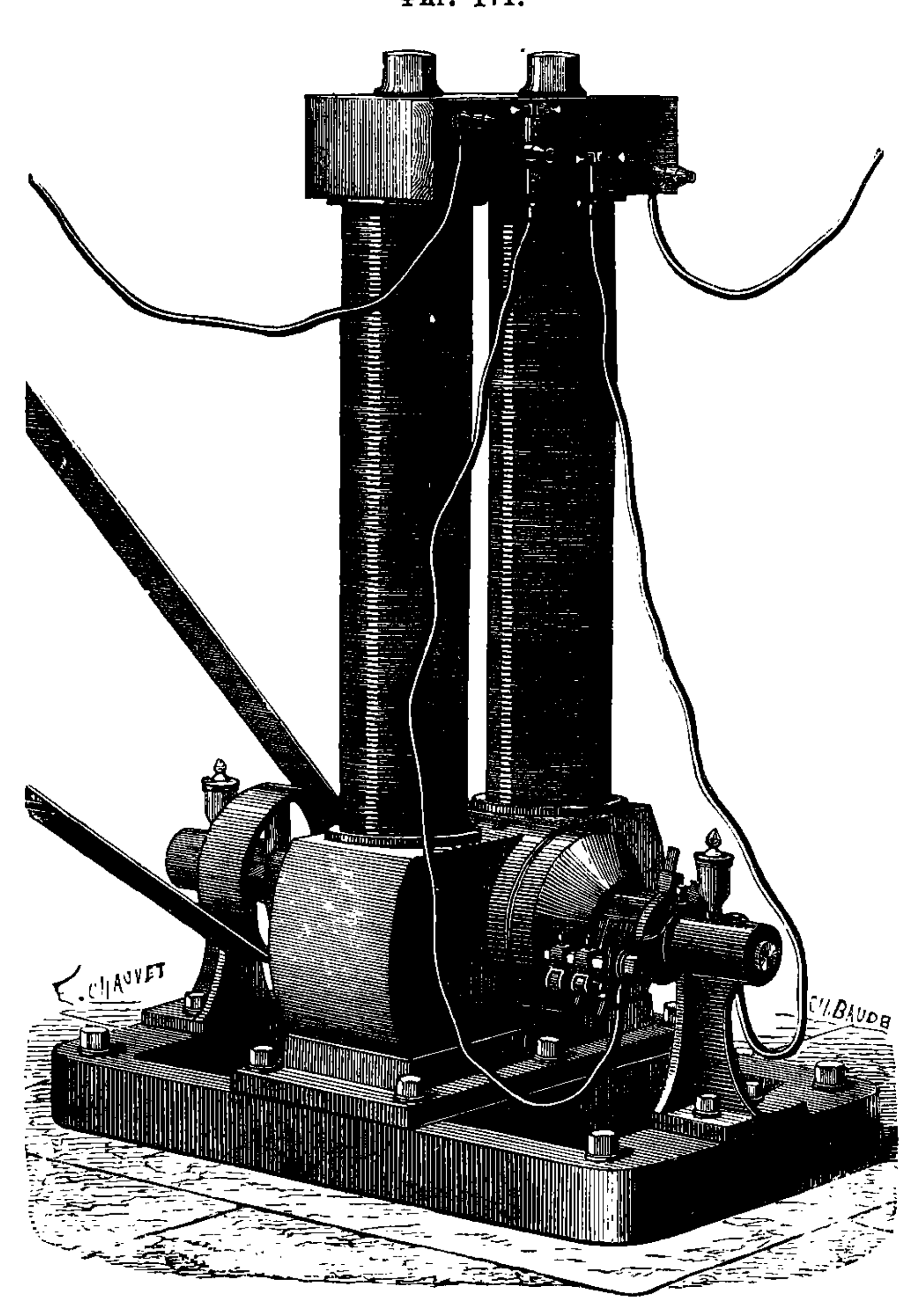


Фиг. 170.

На фиг. 168 представлена динамо-электрическая машина, служащая для гальванопластики. Въ ней кольцо обмотано болѣе толстою проволокою и оно раздѣлено на гораздо меньшее число секцій.

Машина разсматриваемаго типа, вѣсомъ 180 килограммъ, при 900 оборотахъ въ минуту, приводимая въ движеніе 3-сильною паровою машиною, даетъ силу свѣта до 2500 свѣчей.

Фиг. 171.



Динамо-электрическая машина *Сименса* (изобрѣтена *г. Гефнеръ Альтенекомъ*, инженеромъ берлинскаго дома Сименсъ) представлена на фиг. 169. Вмѣсто кольца имѣется катушка Сименса, о которой уже было говорено выше. Два электромагнита расположены подъ и надъ катушками такъ, что полюсы получаются въ среднихъ необмотанныхъ частяхъ, огибающихъ катушку съ двухъ сторонъ. Коллектора касаются

сверху и снизу по двѣ щетки, для того чтобъ въ каждый моментъ по крайней мѣрѣ одна касалась металлической части коллектора.

Представленная на чертежѣ малая машина при вѣсѣ въ 140 килогр. и 1000 оборотахъ въ минуту, приводимая въ движеніе двигателемъ въ $2^1/_2$ силы, можетъ дать свѣтъ до 1500 свѣчей. Большая машина Сименса (475 килогр., 480 оборотовъ, 8 силъ) можетъ дать сосредоточенный свѣтъ въ 14,800 свѣчей.

Машина *Бреша* (фиг. 170) отличается устройствомъ кольца и коллектора. Кольцо вылито изъ чугуна; оно снабжено 8-ю глубокими прорѣзами, въ которые наматывается проволока, что̀ хорошо можно видѣть на чертежѣ. Такимъ образомъ получаются 8 катушекъ; каждая пара противоположныхъ катушекъ соединены между собою послѣдовательно, такъ что получаются четыре отдѣльныя цѣпи. При каждомъ оборотѣ кольца есть для каждой пары моментъ, когда индукція въ ней нуль. Въ этотъ моментъ щетки получаютъ токъ только отъ двухъ другихъ паръ, дѣйствующихъ параллельно. Третья же пара выключена и токъ черезъ нее вовсе не проходитъ, чѣмъ выигрывается безполезная трата тока, который, конечно, ослабѣлъ бы, еслибъ проходилъ еще черезъ двѣ катушки. Большая машина Бреша одновременно зажигаетъ до 40 лампъ, вводимыхъ въ цѣпь послѣдовательно.

Изъ большихъ динамо-электрическихъ машинъ, дающихъ постоянный токъ, упомянемъ еще о машинѣ *Эдисона*, фиг. 171. Она состоитъ изъ двухъ, четырехъ или шести огромныхъ вертикальныхъ электромагнитовъ. Между ихъ полюсами, обращенными *внизъ*, вращается въ малыхъ машинахъ катушка типа Сименсъ; въ большихъ же—катушка особеннаго устройства. Желѣзный сердечникъ ея состоитъ изъ желѣзныхъ колецъ, насаженныхъ на деревянный цилиндръ. Обмотка состоитъ изъ толстыхъ, неизолированныхъ прутьевъ, огибающихъ цилиндръ по направленію длины. Обмотка электромагнитовъ дѣлается изъ сравнительно весьма тонкой проволоки; она введена въ отвѣтвленіе цѣпи, такъ что только часть тока, получаемаго въ катушкѣ, служитъ для намагничиванія.

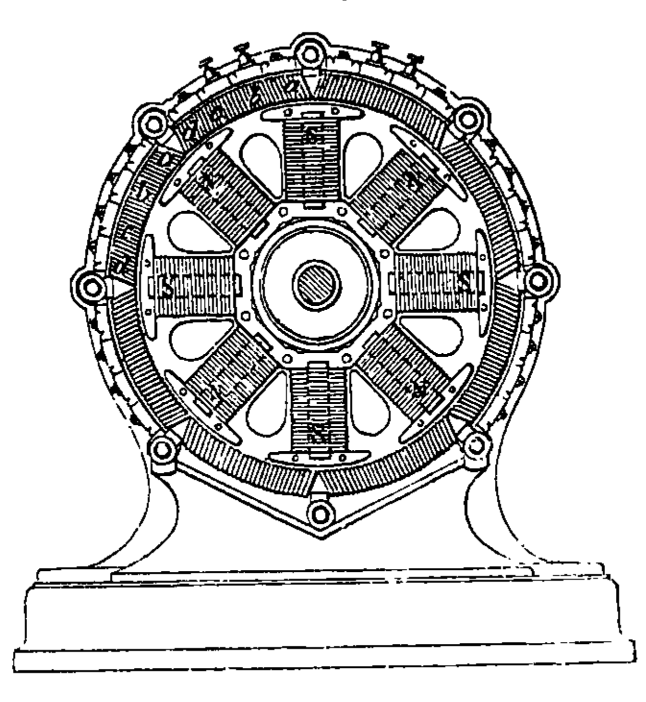
B. Съ перемѣннымъ токомъ.

Машина *Грамма* для перемѣннаго тока изображена на фиг. 172. Она состоитъ изъ весьма продолговатыхъ электромагнитовъ, звѣздообразно насаженныхъ на общую ось и вращающихся совмѣстно. Въ разрѣзѣ на фиг. 173 обозначены полюсы буквами S и N. Они окружены во всю ширину желѣзнымъ цилиндромъ, обмотаннымъ, по направленію длины, проволокою. Обмотка раздѣлена на 8 отдѣловъ и каждый отдѣлъ опять на 4 части. Всѣ части a соединены между собою; точно также соединены между собою части b, части c и части d, такъ что получаются 4 отдѣльныя цѣпи. Всѣ

части, составляющія одну цѣпь, одинаково расположены относительно полюсовъ, такъ что одновременно напр. во всѣхъ частяхъ *a* происхо-

Фиг. 172.

дитъ наиболѣе сильная индукція. Намотка расположена такъ, что всѣ индукціонныя дѣйствія даютъ одинъ токъ, направленіе котораго измѣнится 8 разъ, когда валъ съ электромагнитами сдѣлаетъ одинъ оборотъ. При 1000 оборотахъ въ минуту получимъ 130 перемѣнъ направленія тока въ секунду.


Фиг. 173.

Машина, дающая перемѣнный токъ, понятно, не можетъ сама намагничивать входящіе въ ея составъ электро-магниты; необходимо имѣть еще вторую, стоящую рядомъ съ первою, динамо-электрическую машину Грамма съ постояннымъ токомъ, который и пропускается черезъ центральные электромагниты. Вторая машина называется *возбудителемъ*.

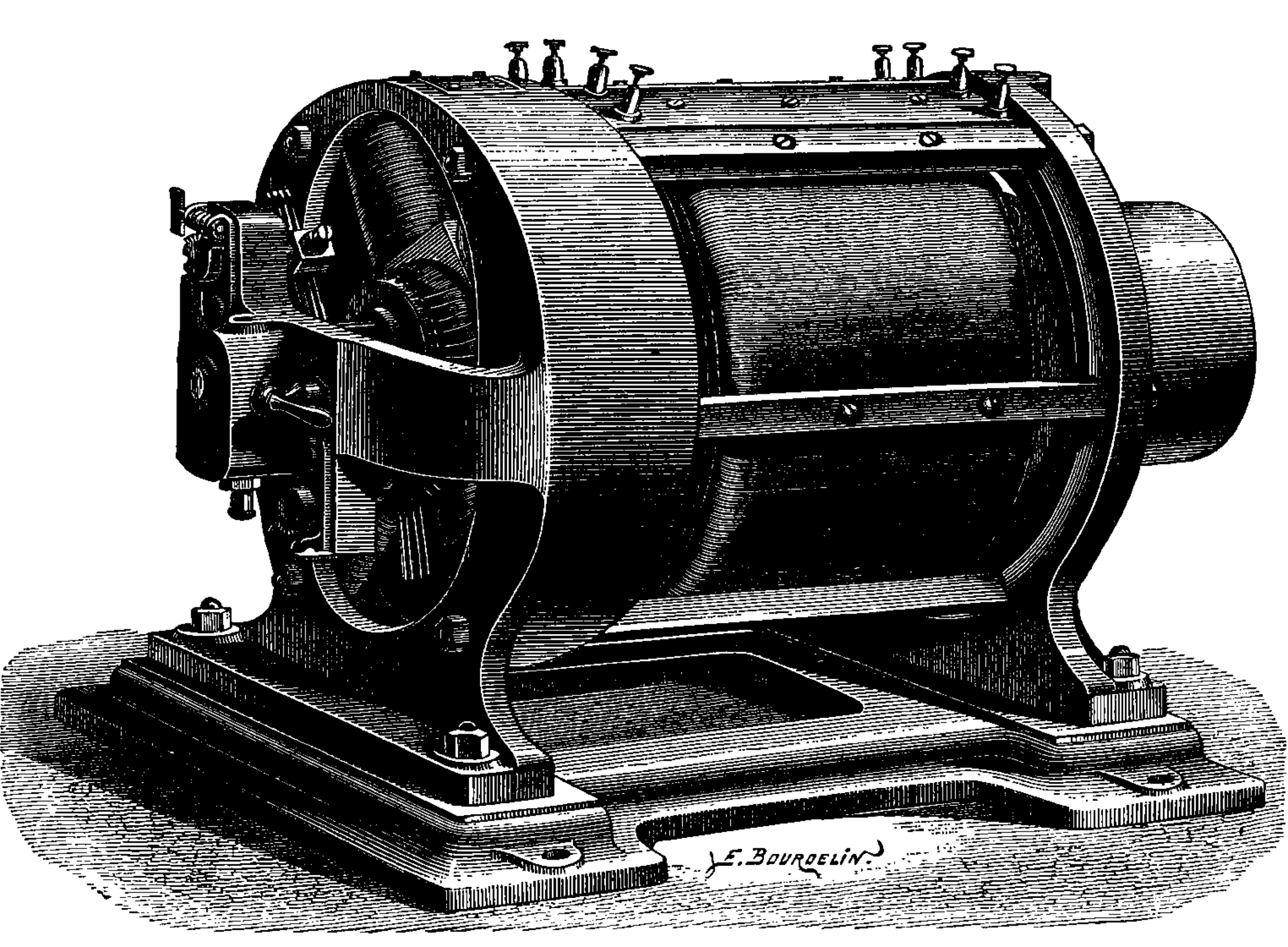
Существуютъ машины, зажигающія одновременно 4, 6 и 16 свѣчей Яблочкова, требующія 4-хъ, 6-ти и 16-ти сильныхъ двигателей,

такъ что на каждую свѣчу можно считать работу не болѣе, какъ въ одну паровую лошадь.

Въ нѣкоторыхъ машинахъ Грамма сама машина и возбудитель имѣютъ общую ось и составляютъ какъ бы одно цѣлое; онѣ называются *самовозбуждающимися.*

На фиг. 174 изображена самовозбуждающаяся машина Грамма. Правая сторона фигуры представляетъ машину, дающую перемѣнный токъ, мало отличающуюся отъ изображенной на фиг. 172; число вращающихся электромагнитовъ однако не 8, а только 6. На лѣвой сторонѣ ви-

Фиг. 174.

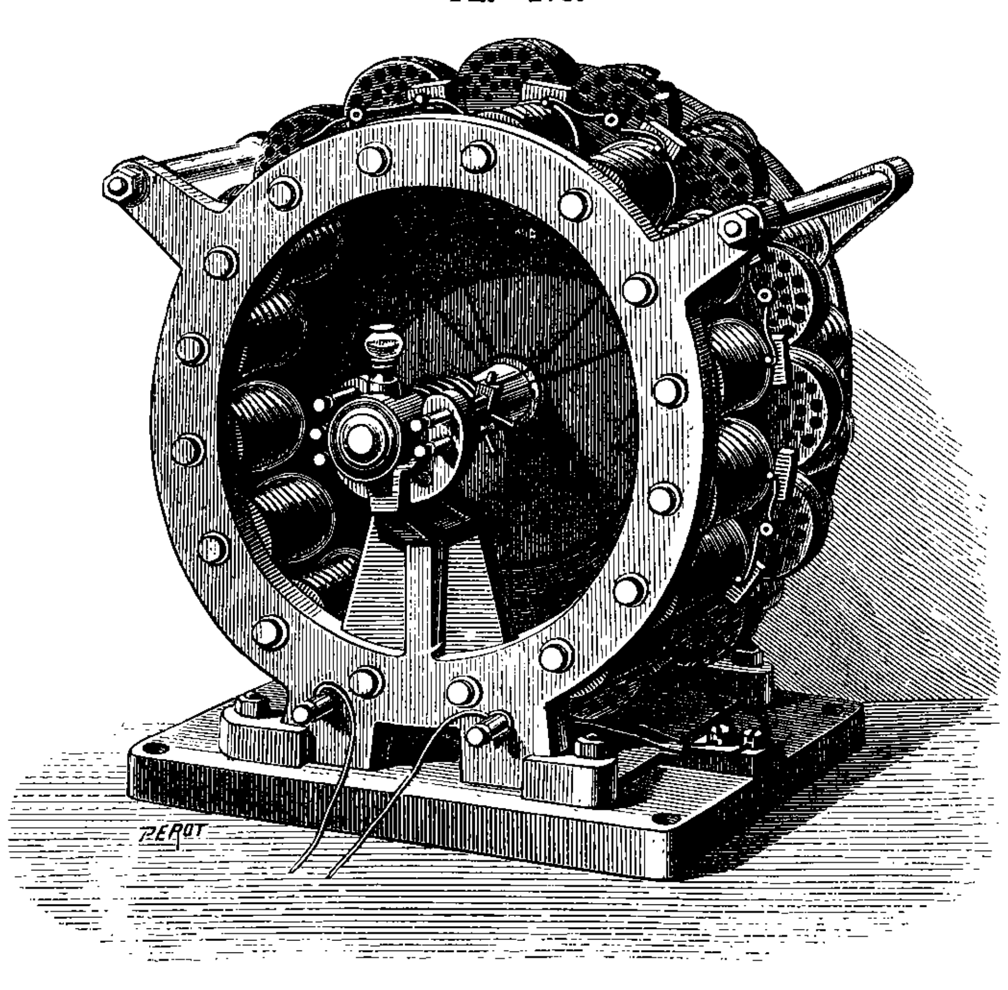


дѣнъ возбудитель: неподвижные электромагниты, между полюсами которыхъ вращается кольцо Грамма, насаженное на общій валъ съ электромагнитами машины перемѣннаго тока.

Динамоэлектрическая машина съ перемѣннымъ токомъ Сименса (фиг. 175) въ двухъ отношеніяхъ существенно отличается отъ машины Грамма. Въ послѣдней, какъ мы видѣли, электромагниты движутся; въ машинѣ же Сименса электромагниты остаются неподвижными. 32 прямыхъ электромагнита расположены по 16-ти на двухъ параллельныхъ, вертикально установленныхъ, кольцеобразныхъ чугунныхъ рамахъ, такъ что магниты одного кольца и магниты другаго обращены

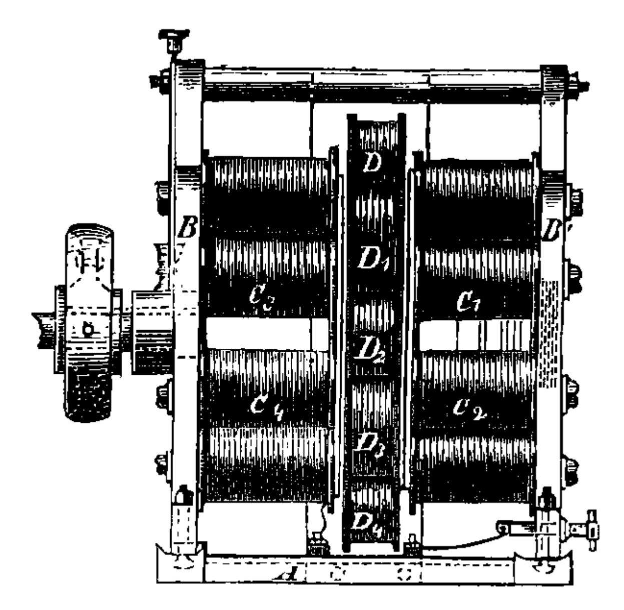
другъ къ другу неодноименными полюсами. На каждомъ кольцѣ магниты чередуются полюсами. Электромагниты намагничиваются токомъ другой

Фиг. 175.



машины, напр. динамоэлектрическою машиною Сименса съ постояннымъ токомъ. Между двумя кольцами вращается вертикальная металлическая круглая доска съ насаженными по ея окружности горизонтальными 16 катушками. Весьма существенная вторая разница между машиною Сименса и машиною Грамма заключается въ томъ, что въ этихъ спираляхъ нѣтъ желѣзнаго ядра, такъ что не происходитъ вовсе индукціи отъ появленія и исчезновенія магнитизма въ желѣзѣ, а только отъ движенія катушекъ мимо магнитныхъ полюсовъ. Такъ какъ полюсы чередуются, въ спираляхъ индуктируются токи перемѣннаго направленія. Изъ 16-ти катушекъ образованы 4 цѣпи, изъ которыхъ каждая питаетъ 4 свѣчи Яблочкова. Вѣсъ такой машины 570 килгр.; вмѣстѣ съ возбудителемъ она требуетъ двигателя въ 14 силъ. Существуютъ машины меньшихъ размѣровъ:

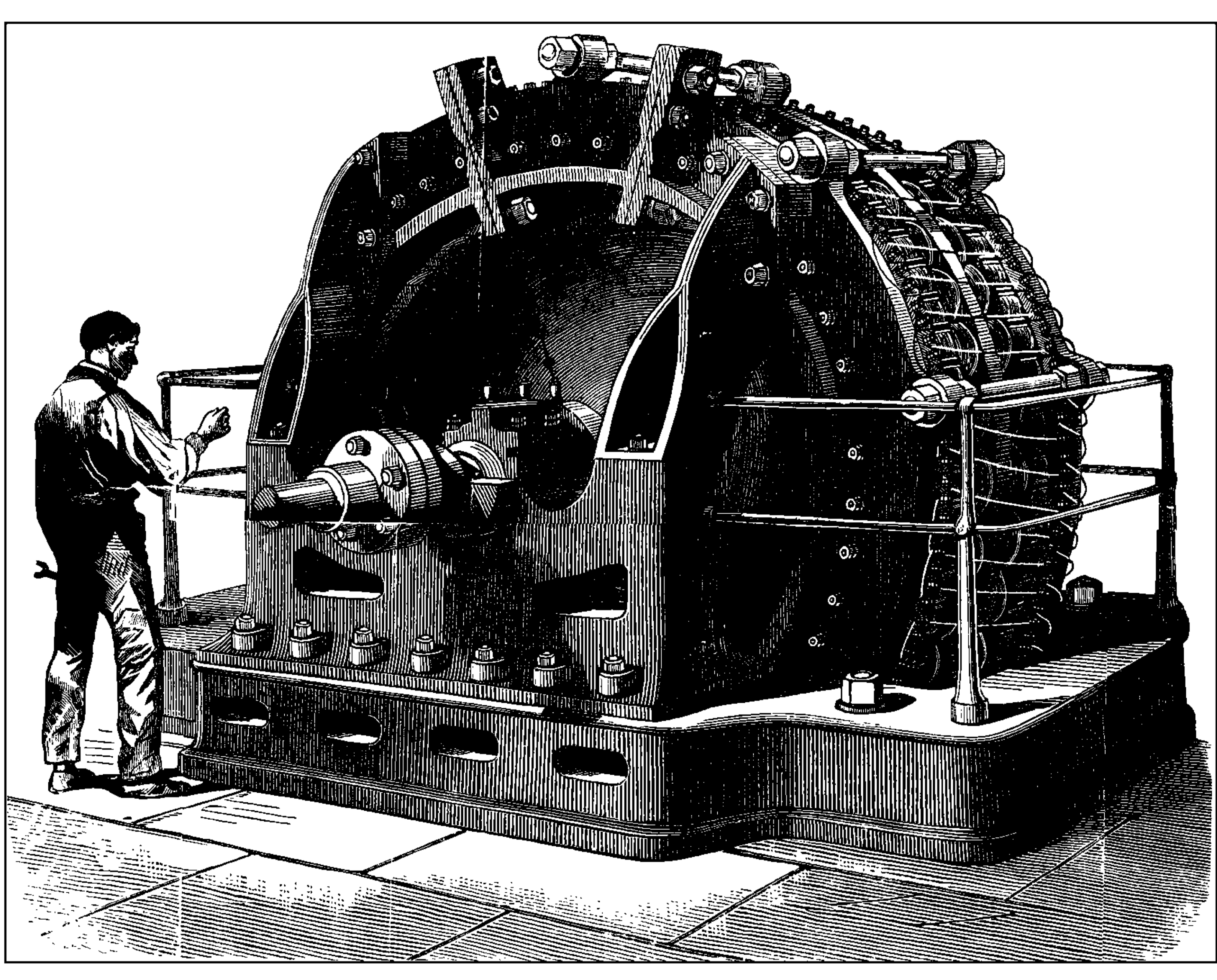
фиг. 176.



для 4 и 6 свѣчей съ 16-ю электромагнитами *C*, фиг. 176, и 8-ю подвижными катушками *D* (машина изображена сбоку) и для 8 свѣчей съ 24-мя электромагнитами и 12-ю катушками.

Въ послѣднее время стали строить машины гиганты; такова машина *Гордона* (съ перемѣннымъ токомъ), которая можетъ накалить нѣсколько тысячъ нитевыхъ лампочекъ Свана. Она изображена на фиг. 177. По внѣшнему виду она весьма сходна съ машиною Сименса; од-

Фиг. 177.



нако въ ней индуктирующіе электромагниты вращаются мимо неподвижныхъ катушекъ, въ которыхъ возбуждаются перемѣнные токи, и въ этомъ отношеніи она напоминаетъ машину Сименса. Катушки размѣщены на внутренней сторонѣ двухъ параллельныхъ, вертикально поставленныхъ, круговъ (по 64 катушки на каждомъ). Между ними вращается металлическій кругъ съ 32-мя электромагнитами, обращенными одними полюсами къ одному изъ круговъ, другими къ другому. Движущіеся электромагниты намагничиваются токомъ особаго постояннаго возбудителя

и при движеніи индуктируютъ въ катушкахъ токи перемѣнныхъ направленій. Діаметръ круговъ 8′ 9″; вѣсъ машины 1116 пуд.; вѣсъ круга съ магнитами 434 пуда; онъ дѣлаетъ отъ 140—200 оборотовъ въ минуту. Электровозбудительная сила=105 вольтамъ.

Только послѣ изобрѣтенія динамо-электрическихъ машинъ стало возможнымъ пользоваться сильными электрическими токами; приводимая въ движеніе паровою машиною, динамо-электрическая машина даетъ токъ, съ которымъ не можетъ сравниться токъ даже весьма сильной батареи Бунзена, составлять и разнимать которую представляетъ во всѣхъ отношеніяхъ непріятную работу.

Съ тѣхъ поръ, какъ была изобрѣтена динамо-электрическая машина, на сцену выступилъ весьма жгучій вопросъ о *передачѣ работы посредствомъ электричества.* Возможность такой передачи основана на томъ, что *всякая магнито-электрическая или динамо-электрическая машина съ постояннымъ токомъ можетъ въ то же время служить магнито-электрическимъ двигателемъ,* т. е. ея подвижныя части (кольцо Грамма, катушка Сименса) начинаютъ вращаться, если черезъ нее пропустить токъ, полученный отъ другаго источника. Объяснимъ это хотя бы для магнито-электрической машины Грамма, фиг. 162. Токъ, получаемый отъ произвольнаго источника (батареи или машины), вступаетъ черезъ правую щетку въ коллекторъ, оттуда проходитъ къ точкѣ M' кольца Грамма. Здѣсь онъ раздѣляется на два тока, изъ которыхъ одинъ проходитъ обмотку кольца по верхней половинѣ $M'AM$, другой—по нижней $M'BM$. Въ точкѣ M токи вновь соединяются въ одинъ, который черезъ лѣвую щетку выходитъ изъ машины.

Очевидно, что верхняя и нижняя половины кольца представятъ въ этотъ моментъ обыкновенные электро-магниты, причемъ въ M' у обоихъ будетъ одинъ полюсъ, а въ M другой. Вслѣдствіе того, что въ M и M' образуются магнитные полюсы, они будутъ притягиваться однимъ изъ полюсовъ (N или S) стальнаго магнита, а другимъ отталкиваться. Кольцо, понятно, начнетъ вращаться. При этомъ щетки перейдутъ на другія части коллектора; магнитные полюсы въ кольцѣ перейдутъ на другія его части, оставаясь неизмѣнно все въ тѣхъ же мѣстахъ пространства M и M'. Понятно, что кольцо должно продолжать непрерывно вращаться.

На этомъ свойствѣ магнито-электрическихъ и динамо-электрическихъ машинъ основана передача работы посредствомъ электричества. Вообразимъ двѣ хотя бы динамо-электрическія машины, находящіяся на значительномъ другъ отъ друга разстояніи. Одна изъ нихъ приводится въ движеніе, положимъ, паровою машиною; она даетъ токъ, который проводится ко второй динамо-электрической машинѣ, находящейся на совершенно другомъ мѣстѣ. Токъ, получаемый отъ первой машины, приводитъ во вращеніе другую динамо-электрическую машину. Этимъ

можно воспользоваться, чтобы привести въ движеніе какія угодно машины, и въ этомъ заключается то, что называется передачею работы посредствомъ электричества.

3-го Іюня 1873 г. *Фонтенъ* произвелъ первый опытъ передачи работы посредствомъ электричества на Вѣнской всемірной выставкѣ, въ присутствіи австрійскаго Императора. 29 Мая 1879 года въ Сермезѣ былъ произведенъ опытъ паханія поля посредствомъ передачи работы электричествомъ отъ довольно отдаленнаго мѣста; въ этомъ же году около Берлина была построена первая электрическая желѣзная дорога слѣдующаго устройства: на одной станціи установлена паровая машина, которая приводитъ въ движеніе сильную динамо-электрическую машину, токъ отъ которой черезъ рельсы—или особые проводы—проводится въ снарядъ, играющій роль локомотива, но въ сущности состоящій изъ динамо-электрической машины; движеніе ея передается колесамъ, такъ что весь поѣздъ приходитъ въ движеніе.

Въ 1881 году *Труве* устроилъ лодку, которая ѣздила на Сенѣ; въ 1882 году лодка ходила по Темзѣ и въ 1883 году по канавѣ въ Вѣнѣ. Въ 1882 году *Марсель-Депре* устроилъ въ Мюнхенѣ передачу работы электричествомъ на разстояніе 56 килом. Неумѣстный шумъ, поднявшійся сначала по поводу этихъ опытовъ, привелъ къ ожесточенному спору о количествѣ переданной работы; сперва увѣряли, что передаваемая работа равняется 67% затраченной; но болѣе точныя изслѣдованія показали, что передано было 34% работы.

Трудно опредѣлить въ настоящее время, какую роль будетъ играть въ будущемъ вопросъ о передачѣ работы электричествомъ, но надо полагать, что эта роль будетъ грандіозная. Мы непрерывно нуждаемся въ движеніи, теплотѣ и свѣтѣ, т. е. въ трехъ формахъ энергіи, и для добыванія ихъ пользуемся скрытою химическою энергіею угля, которая при его сжиганіи превращается въ теплоту; но недостатокъ этого способа заключается въ томъ, что развивающаяся при горѣніи энергія не можетъ быть съ пользою употреблена въ мѣстахъ сколько нибудь отдаленныхъ отъ тѣхъ, гдѣ происходитъ горѣніе угля. Передача силы паровой машины посредствомъ ремней имѣетъ очевидныя неудобства. Только электрическій токъ можетъ передать энергію на громадное разстояніе. Слѣдовательно, сущность пользы отъ передачи работы электричествомъ заключается въ томъ, что энергію, которую мы имѣемъ въ одномъ мѣстѣ, мы можемъ передать на большое разстояніе туда, гдѣ понадобится теплота, свѣтъ или движеніе, превративъ ее сперва въ электрическую энергію, а потомъ обратно въ энергію тепловую или въ движеніе. Паровую машину можно поставить тамъ, гдѣ это окажется удобнымъ, и оттуда передавать энергію куда можно. Для желѣзныхъ дорогъ очевидная выгода будетъ заключаться уже въ томъ, что не нужно будетъ возить съ собою локомотивъ съ котломъ, топливомъ и т. д. Самое главное удобство

передачи работы электричествомъ будетъ заключаться въ слѣдующемъ: мы въ природѣ во многихъ мѣстахъ встрѣчаемъ въ избыткѣ запасы энергіи; но не всегда запасы эти находятся тамъ, гдѣ мы въ состояні ими пользоваться. Таковыми запасами являются: топливо, водопады, вѣтеръ и т. д. Представимъ себѣ, что около водопада устроена турбина, которая приводитъ въ движеніе сильную динамо-электрическую машину; токъ отъ этой машины на значительное разстояніе передается въ городъ и можетъ тамъ служить для освѣщенія, для приведенія въ движеніе другой, установленной тамъ динамо электрической машины, которая, съ своей стороны, приведетъ въ движеніе станки, разныя машины и проч. Окажется, что даровая, находящаяся въ природѣ энергія, которою неудобно было пользоваться, найдетъ утилизацію посредствомъ передачи работы динамо-электрическими машинами; онѣ дѣлаютъ намъ ее доступною и приносящею выгоду, размѣры которой опредѣлить въ настоящее время трудно.

ЛЕКЦІЯ XII.

О телеграфѣ. Оптическій телеграфъ. Электростатическіе телеграфы Лесажа, Рейссера и др. Электрохимическій телеграфъ Земмеринга. Приборы Александра, Гаусса и Вебера. Телеграфъ П. Л. Шиллинга и исторія его появленія въ Англіи; Кукъ и Витстонъ; Якоби. Морзе, введеніе земли (Штейнгейль); аппаратъ Морзе. Значеніе телеграфа. Аппаратъ Юза. Релэ и соединеніе двухъ станцій Морзе. Дуплексъ и мултиплексъ. Кабели, ихъ исторія и устройство. Заряженіе кабеля. Зеркальный гальванометръ и сифонъ-рекордеръ В. Томсона.

О телеграфѣ.

Телеграфомъ называется совокупность снарядовъ, служащихъ для быстрой передачи мысли отъ одного мѣста къ другому. Чѣмъ скорѣе и удобнѣе происходитъ эта работа, тѣмъ лучше телеграфъ.

Телеграфы раздѣляются на: пневматическіе, акустическіе, оптическіе и электрическіе.

Телеграфъ пневматическій состоитъ изъ подземныхъ трубъ, въ которыхъ, давленіемъ сгущеннаго воздуха, перемѣщаются цилиндры съ письмами. Системы пневматическихъ телеграфовъ устроены въ Парижѣ и Берлинѣ.

Телеграфъ акустическій или *телефонъ* будетъ разсмотрѣнъ въ слѣдующей лекціи.

Оптическій телеграфъ состоитъ въ томъ, что посредствомъ знаковъ, видимыхъ издали, передаются телеграммы отъ одного мѣста къ

другому. Знаки заключаются въ появленіи или исчезновеніи свѣта, огня, или изъ различныхъ сочетаній подвижныхъ частей особаго, виднаго издали, механизма. Мысль передавать извѣстія, зажигая огни на высотахъ—старая и распространенная. Бушредеръ еще въ 1725 г. высказалъ мысль, что вавилонская башня служила, между прочимъ, для оптическаго телеграфа. Эсхилъ, въ трагедіи «Агамемнонъ», говоритъ, что царица Клитемнестра узнала о паденіи Трои въ ту же ночь, посредствомъ знаковъ, переданныхъ ей посредствомъ зажженныхъ костровъ. У дикихъ народовъ, въ особенности въ Африкѣ, понынѣ существуетъ подобный способъ передачи извѣстій. Аннибалъ въ Испаніи, Римляне во всѣхъ частяхъ своихъ владѣній построили башни для оптическаго телеграфа. Китайцы вдоль всей стѣны устроили башни, въ которыхъ они зажигаютъ необыкновенно яркіе огни. Наконецъ, Англичане, для соединенія обсерваторій Парижской и Гриньвичской въ 1778 году, устроили подобный же оптическій телеграфъ.

Еще въ 1684 г. знаменитымъ *Гукомъ* предложена была система оптическаго телеграфа, состоящая изъ сочетанія несвѣтящихся тѣлъ, изъ планокъ, шаровъ и т. д. На морѣ и до настоящаго времени переговоры судовъ между собой и съ берегомъ происходятъ помощію системы условныхъ знаковъ. 22 марта 1792 г. *Шапъ* предложилъ національному собранію въ Парижѣ новую систему оптическаго телеграфа. На крышахъ зданій были установлены шесты съ тремя подвижными планками, которыя могли принимать 196 различныхъ положеній и, такимъ образомъ, изображать опредѣленныя буквы и цѣлыя слова. Въ 1794 году первая, устроенная по такой системѣ, линія была готова и 1 Сентября того же года Карно получилъ по ней первое извѣстіе о томъ, что въ тотъ же самый день, утромъ, городъ Condé взятъ Французами у Австрійцевъ. Передача депеши отъ Бреста до Парижа требовала впослѣдствіи 7 минутъ, отъ Кельна до Берлина—10 минутъ. И теперь, особенно во время войны, пользуются оптическимъ телеграфомъ. Въ послѣднее время, впрочемъ, примѣняется другой способъ: лучи лампы, или солнца, посредствомъ зеркала направляются въ различныя стороны; заставляя свѣтъ то появляться, то исчезать, изображаютъ буквы, подобно тому, какъ это принято въ электрическомъ телеграфѣ по системѣ Морзе.

Телеграфъ тогда только могъ пріобрѣсти то большое значеніе, которое онъ имѣетъ въ настоящее время, когда къ нему примѣнено было электричество. Электрическій телеграфъ основанъ на дѣйствіяхъ гальваническихъ токовъ и на громадной быстротѣ, съ которою это дѣйствіе проявляется во всѣхъ частяхъ длиннѣйшей цѣпи. Двѣ станціи вводятся въ общую цѣпь; при замыканіи тока на одной станціи, на другой проявляется дѣйствіе тока въ особенныхъ пріемныхъ приборахъ.

Еще въ 15 и 16 столѣтіяхъ *Порта*, *Кабеусъ* и другіе ученые предлагали для передачи знаковъ воспользоваться взаимодѣйствіемъ ма-

гнитовъ. Нѣкто *Жанъ Александръ* пожелалъ познакомить Наполеона I съ устройствомъ изобрѣтеннаго имъ телеграфа. Даламберъ написалъ докладъ, изъ котораго видно, что ему не удалось ближе познакомиться съ этимъ приборомъ; въ 1832 году Жанъ Александръ умеръ, повидимому не сообщивъ никому устройства своего прибора.

Статическое электричество было впервые предложено для телеграфныхъ цѣлей въ 1753 году *Маршаломъ*. Въ 1774 г. *Лесажъ* въ Женевѣ первый устроилъ приборъ, въ которомъ 24 изолированныя проволоки соединяли двѣ станціи; на одной станціи каждая проволока имѣла вблизи себя бузинный шарикъ; если на другой станціи одну изъ этихъ проволокъ соединить съ кондукторомъ электрической машины, то соотвѣтствующій этой проволокѣ бузинный шарикъ будетъ притягиваться или отталкиваться и движеніе это будетъ соотвѣтствовать опредѣленной, передаваемой отъ станціи до станціи буквѣ. Въ 1787 г. *Ломонъ* устроилъ, основанный на дѣйствіи статическаго электричества, телеграфъ съ одною проволокою. Въ этомъ телеграфѣ впервые были введены буквы, составленныя изъ комбинаціи различныхъ знаковъ.

Въ 1794 г. *Рейссеръ* вновь устроилъ телеграфъ, въ которомъ станціи были соединены 24 проволоками; каждая проволока была соединена съ латунною, продолговатою полоскою, прикрѣпленною на стеклянномъ листкѣ; на каждой полоскѣ былъ сдѣланъ прорѣзъ. При пропусканіи отъ другой станціи, черезъ одну изъ проволокъ, заряда Лейденской банки, получалась въ прорѣзѣ искра, появленіе которой соотвѣтствовало, смотря по полоскѣ, опредѣленной буквѣ.

Затѣмъ многіе, особенно въ 1797 и 98 годахъ, устроивали подобные приборы; такъ, *Бетанкуръ* устроилъ телеграфъ отъ Мадрита въ Аранжуесъ. Наиболѣе интересны опыты *Рональдса*, который въ 1816 г. устроилъ 16 приборовъ, очень сложныхъ (въ нихъ примѣненъ былъ часовой механизмъ), телеграфировавшій на разстояніи 525 фут. по подземному проводнику. *Дїаръ* въ Америкѣ устроилъ приборъ, въ которомъ искры на движущейся пластинкѣ давали точки и черточки; повидимому, это была первая азбука, составленная по системѣ нынѣ употребляемой въ телеграфіи. Въ 1844 г. *Гайтонъ* въ Англіи устроилъ приборъ, посредствомъ котораго вблизи Лондона телеграфировали на разстояніи 10 англійскихъ миль.

Однако, развиться окончательно телеграфъ могъ только тогда, когда къ нему стали примѣнять не статическое электричество, а гальваническій токъ. Одно изъ первыхъ дѣйствій, которымъ воспользовались для этого, было дѣйствіе химическое и первымъ, примѣнившимъ это дѣйствіе тока къ телеграфу—былъ *Земмерингъ* въ Мюнхенѣ, который въ 1809 г. устроилъ, такимъ образомъ, первый телеграфъ, основанный на дѣйствіи гальваническаго тока. Исторія изобрѣтенія этого телеграфа довольно замѣчательна. Наполеонъ широко пользовался оптическимъ теле-

графомъ и король баварскій Максимиліанъ, обѣдая 9 Іюля 1809 г. съ Земмерингомъ, выразилъ желаніе, чтобы онъ взялся за разработку оптическаго телеграфа. Земмерингъ чуть ли не въ тотъ же день занялся устройствомъ приборовъ, и уже 22 Іюля его приборъ былъ готовъ. Онъ состоялъ изъ двухъ частей, соединенныхъ между собою 35 проволоками. Электроды батареи, поставленной на одной станціи, могли быть соединены съ любою изъ этихъ проволокъ. На другой станціи концы проволокъ входили въ широкій сосудъ съ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты. Если на одной станціи соединить электроды съ двумя изъ 35 проволокъ, то токъ черезъ нихъ проходилъ на другую станцію, вслѣдствіе чего на концахъ, находящихся въ жидкости, проявлялись на одномъ кислородъ, а на другомъ—водородъ и притомъ втораго вдвое болѣе, чѣмъ перваго. Каждая изъ этихъ проволокъ соотвѣтствовала буквѣ или знаку препинанія и притомъ было условлено, чтобы изъ появившихся дѣйствій на проволокахъ считать ту букву, на которой появлялся водородъ. 8 Августа, т. е. черезъ мѣсяцъ послѣ разговора, который имѣлъ Земмерингъ съ королемъ, онъ уже могъ телеграфировать на разстояніи 1000 футовъ. 28 Августа онъ представилъ свое изобрѣтеніе Академіи въ Мюнхенѣ, а 5 Декабря Академіи Парижской. Въ 1810 г князь Потоцкій привезъ этотъ приборъ въ Вѣну, а въ 1812 г. баронъ Шиллингъ— въ Петербургъ. 5 Марта 1812 г. Земмерингъ телеграфировалъ на разстояніи 10,000 ф. Послѣ Земмеринга еще появились предложенія цѣлаго ряда способовъ телеграфированія, основаннаго на химическихъ дѣйствіяхъ тока. Укажемъ только хотя бы на телеграфъ *Бэна*.

Вскорѣ послѣ того, какъ Эрштедтъ въ 1820 г. вторично (см. стр. 77) открылъ дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку, Амперъ на одномъ изъ первыхъ засѣданій парижской Академіи, гдѣ обсуждалось это новое открытіе, предложилъ воспользоваться имъ для телеграфныхъ цѣлей.

Въ 1837 г. *Александръ* въ Эдинбургѣ устроилъ приборъ, въ которомъ отъ одной станціи до другой шли 30 проволокъ, проходящихъ на второй черезъ 30 мультипликаторовъ; надъ каждымъ мультипликаторомъ находилась магнитная стрѣлка, съ приклееннымъ къ ней листкомъ бумаги, подъ которымъ находилась буква. Когда токъ пропускался черезъ который нибудь изъ мультипликаторовъ, магнитная стрѣлка отклонялась въ сторону, и буква открывалась. Гораздо раньше, въ 1833 г. *Гауссъ и Веберъ* устроили въ Геттингенѣ электромагнитный телеграфъ, соединявшій физическій кабинетъ университета съ магнитною и астрономическою обсерваторіею. Большой магнитъ, подвѣшенный внутри мультипликатора на одной станціи, былъ соединенъ съ маленькимъ зеркаломъ; посредствомъ трубы и шкалы (см. стр. 79) можно было слѣдить за малѣйшими движеніями этого зеркала. Токи получались на другой станціи индуктивнымъ способомъ: вертикальный прямой магнитъ, окру-

женный неподвижною короткою проволочною катушкою, могъ, посредствомъ рычага, быть мгновенно поднятъ или опущенъ, причемъ въ катушкѣ возбуждались индукціонные токи; тогда магнитъ, въ мультипликаторѣ на другой станціи, получалъ легкія отклоненія въ право или въ лѣво; комбинаціи этихъ отклоненій представляли систему буквъ. Алфавитъ былъ составленъ такимъ образомъ, что наибольшее число отклоненій для одной комбинаціи, изображавшей букву, было 4.

Отцомъ электромагнитнаго телеграфа долженъ быть названъ баронъ *Павелъ Львовичъ Шиллингъ* (род. 5 Апрѣля 1786 г. въ Ревелѣ). Справедливую оцѣнку его заслугъ можно найдти почти во всѣхъ нѣмецкихъ и французскихъ изданіяхъ, но не въ англійскихъ и даже не въ русскихъ. Въ 1810 г. П. Л. Шиллингъ, прикомандированный къ русскому посольству въ Мюнхенѣ, увидѣвъ приборъ Земмеринга, былъ пораженъ простотою его устройства и съ тѣхъ поръ сталъ заниматься гальванизмомъ и его примѣненіями. 7 Сентября 1810 г. онъ дѣлалъ опыты съ проволокою, покрытою для изоляціи растворомъ каучука. Въ 1812 г. онъ достигъ изоляціи проволоки на столько, что осенью взрывалъ мины черезъ Неву, а въ 1814 г., при вступленіи Императора Александра I въ Парижъ, тоже черезъ Сену. Уже въ 1815 г. онъ узналъ о дѣйствіи тока на стрѣлку, открытомъ въ 1802 году Романьези и за тѣмъ уже вторично Эрштедтомъ въ 1820 г., и послѣ многихъ опытовъ онъ первый устроилъ электромагнитный телеграфъ въ 1830 г. Исторія этого открытія весьма подробно изложена въ интереснѣйшей статьѣ Академика Гамеля (Hamel) «Возникновеніе гальванической и электромагнитной телеграфіи», появившейся въ 1859 г. и вновь напечатанной на французскомъ и нѣмецкомъ языкахъ въ 1883 г. отдѣльными брошюрами.

Пріемный приборъ барона Шиллинга состоялъ изъ 6 мультипликаторовъ, въ которыхъ висѣло столько же стрѣлокъ, соединенныхъ съ круглыми бумажками, вычерненными на одной сторонѣ и бѣлыми на другой. Телеграфныя станціи предполагалось соединить 8 проволоками, изъ которыхъ 6 проволокъ шли къ мультипликаторамъ, одна проволока служила для обратнаго тока и одна была соединена съ призывнымъ приборомъ. Передаточный приборъ барона Шиллинга состоялъ изъ особой клавіатуры. При нажиманіи на клавишу замыкался токъ, проходящій черезъ одинъ изъ мультипликаторовъ пріемнаго прибора другой станціи. Отъ дѣйствій токовъ, магнитныя стрѣлки поворачивались вмѣстѣ съ бумажками, и движенія этихъ бумажекъ, извѣстнымъ образомъ комбинированныя, обозначали опредѣленныя буквы. Призывной приборъ состоялъ изъ мультипликатора, магнитъ котораго прикрѣпленъ къ металлической оси, къ верхней части которой придѣланъ горизонтальный стержень. Сбоку, вблизи мультипликатора, установленъ часовой механизмъ со звонкомъ. Далѣе имѣлась вертикальная проволока, вра-

щающаяся около своей нижней точки и снабженная на верху грузикомъ. При пропусканіи тока черезъ мультипликаторъ, магнитъ съ осью и съ горизонтальнымъ стержнемъ поворачивался, вслѣдствіе чего проволока съ грузикомъ спадала на выступъ, задерживающій часовой механизмъ. Послѣдній освобождался и звонокъ начиналъ дѣйствовать. Впослѣдствіи Шиллингъ устроилъ пріемный приборъ съ однимъ только мультипликаторомъ. Азбука составлялась изъ комбинацій движеній бумажнаго кружка. Въ 1832 году баронъ Шиллингъ, у себя на квартирѣ, показывалъ Императору Николаю Павловичу телеграфъ. Государь написалъ на бумагѣ: «Je suis charmé d'avoir fait ma visite à M. Schilling» — что̀ безъ ошибки было передано телеграфомъ. 19-го Мая 1837 года Шиллингу было сообщено Высочайшее повелѣніе соединить Петербургъ съ Кронштадтомъ. Предварительные опыты подводной передачи въ Петербургѣ вполнѣ удались, но 25-го Іюля 1837 года баронъ Шиллингъ умеръ. На одномъ изъ засѣданій коммиссіи, которая была назначена для разработки вопроса о телеграфномъ соединеніи Петербурга съ Кронштадтомъ, Шиллингъ предложилъ вѣшать проволоку на столбахъ. Предложеніе было встрѣчено хохотомъ и замѣчаніями, въ родѣ «Ваше предложеніе — чистая нелѣпость; ваши воздушныя проволоки по истинѣ смѣшны». Путешествуя по Германіи, Шиллингъ, 23-го Сентября 1835 года, показывалъ свои приборы на съѣздѣ естествоиспытателей, въ Боннѣ; присутствовавшій на съѣздѣ профессоръ *Мунке* привезъ одинъ изъ нихъ въ Гейдельбергъ, гдѣ показывалъ его на своихъ лекціяхъ. На этихъ лекціяхъ присутствовалъ студентъ *Гопнеръ*, впослѣдствіи одинъ изъ инженеровъ, строившихъ желѣзную дорогу Флоренція-Ливорно. Отъ него узналъ о приборѣ *Вильямъ Кукъ*, изучавшій въ Гейдельбергѣ приготовленіе анатомическихъ препаратовъ изъ воска. Изъ любопытства Кукъ пошелъ 6-го Марта 1836 года на лекцію профессора Мунке, гдѣ онъ увидѣлъ приборъ барона Шиллинга. Онъ тотчасъ бросилъ свои занятія, устроилъ такой же приборъ съ тремя стрѣлками и отправился въ Англію пропагандировать новое изобрѣтеніе. Онъ самъ такъ мало былъ физикомъ, что сообщилъ о привозѣ прибора, который уже 50 лѣтъ показывается въ физическихъ кабинетахъ, между тѣмъ какъ за 50 лѣтъ передъ тѣмъ еще не было даже открытія Гальвани! Кукъ прибылъ въ Англію 22-го Апрѣля 1836 года. Сначала онъ мало имѣлъ успѣха. Въ Январѣ 1837 года онъ показывалъ директорамъ желѣзныхъ дорогъ приборъ, но они его не одобрили. Въ Маѣ 1837 года онъ сошелся съ *Витстономъ* и съ этого времени начинается введеніе телеграфа въ Англіи. Въ Іюнѣ 1837 года изобрѣтеніе получило привилегію и 25-го Іюля былъ сдѣланъ въ Лондонѣ опытъ телеграфированія на разстояніи $1^1/_4$ мили. Это было за 13 дней до смерти барона Шиллинга. Въ привилегіи Кукъ и Витстонъ говорятъ только объ усовершенствованіи прибора, бывшаго у профессора Мунке; сами же они никогда не выдавали его за свое изобрѣтеніе. Въ

первомъ приборѣ, устроенномъ Витстономъ и Кукомъ, находилось 6 подвижныхъ стрѣлокъ; потомъ они перешли къ приборамъ съ 4 стрѣлками. Были и такіе приборы, въ которыхъ нѣсколько стрѣлокъ, по взаимному расположенію, изображали разныя буквы, подобно тому, какъ въ оптическомъ телеграфѣ Шаппа. Первое существенное усовершенствованіе въ приборѣ Витстона заключалось въ томъ, что онъ воспользовался одною изъ стрѣлокъ, которая при пропусканіи тока отодвигалась въ сторону, причемъ замыкала токъ мѣстной батареи, который уже затѣмъ служилъ для производства главнаго дѣйствія. Тутъ уже является какъ бы первая идея такъ называемаго релэ.

Изъ Англіи приборъ Кука и Витстона сталъ распространяться повсюду и, какъ нѣчто новое, явился у насъ, при чемъ предложено было русскому Правительству купить изобрѣтеніе Кука. Два года шла переписка. Но въ это время *Якоби* сталъ строить свои телеграфы и Куку не удалось продать Россіи русское изобрѣтеніе. Что первый изобрѣтатель былъ Шиллингъ, признается—повторяемъ—за границу. А у насъ еще въ 1866 году явился переводъ книги о телеграфіи Дю-Монселя, гдѣ въ исторической части не упоминается о Шиллингѣ, и ресскій переводчикъ не счелъ нужнымъ сдѣлать надлежащаго добавленія. Имя Шиллинга пользуется у насъ небольшою извѣстностью, какъ и имена многихъ другихъ русскихъ дѣятелей, плодами работъ которыхъ воспользовались за границей.

Императоръ Николай Павловичъ въ 1839 году поручилъ академику Якоби устроить телеграфъ отъ Зимняго Дворца къ Главному Штабу и оригинальный приборъ Якоби дѣйствовалъ отъ 1839—1842 года. Въ 1840 году Якоби придумалъ другую систему, основанную на химическомъ дѣйствіи тока. Съ 1842 по 1844-й годъ дѣйствовали приборы Якоби на линіи въ Царское Село и Александрію — телеграфы съ циферблатами Въ 1844 году Якоби было поручено построить телеграфъ въ Москву. Предполагалось положить проволоки по поверхности шпалъ въ жолобахъ, залитыхъ асфальтомъ; но въ это время узнали о вновь открытомъ веществѣ—гуттаперчѣ. Тогда проволока и аппараты были получены изъ-за границы; съ этого времени дѣятельность академика Якоби по телеграфіи прекращается и являются германскіе контрагенты для устройства и содержанія телеграфныхъ линій.

Самуэль Морзе родился 29 Апрѣля 1791 года въ г. Чарльстоунѣ, Штата Массачузета. Занимаясь живописью, онъ дѣлалъ большія путешествія по Европѣ, гдѣ снималъ копіи съ картинъ. Осенью 1832 года Морзе, на пакетботѣ «Sully», отправился въ Америку; на этомъ же суднѣ находился докторъ Джаксонъ изъ Бостона, который въ Парижѣ, въ Сорбоннѣ, слушалъ лекціи Пулье и видѣлъ дѣйствія сильныхъ электромагнитовъ.

Во время переѣзда въ Америку, длившагося отъ 8-го Октября по 9-е Ноября 1832 года, Морзе много разговаривалъ съ Джаксономъ объ электромагнитизмѣ и послѣднiй показывалъ ему маленькiе электромагниты. Морзе впослѣдствiи не позабылъ своихъ бесѣдъ съ Джаксономъ и думалъ воспользоваться добытыми свѣдѣнiями. Въ 1835 году онъ сталъ дѣлать первые опыты, но неудачные. Въ 1837 году онъ съ помощью доктора *Гела* устроилъ приборъ, который 4-го Сентября 1837 года далъ кой-какiе, почти удачные, результаты. Только впослѣдствiи *Альфредъ Вайлъ* придалъ прибору настоящiй, практическiй видъ. Морзе утверждалъ, что онъ первый изобрѣлъ электрическiй телеграфъ, тогда какъ первыя его попытки телеграфированiя были 4-го Сентября 1837 года, т.-е. на 41 день послѣ опытовъ Кука и Витстона, которые телеграфировали уже на разстоянiи $1^1/_4$ англiйской мили, 11 дней послѣ смерти Шиллинга, который 27 лѣтъ раньше видѣлъ первый электрическiй телеграфъ Земмеринга!

Телеграфъ проникъ сравнительно очень поздно во Францiю. Еще въ 1846 году нѣкто докторъ Гюо представилъ Парижской Академiи мемуаръ, въ которомъ мысль объ электрическомъ телеграфѣ называетъ «ridicule et blamable». «Notre nation aurait à rougir de honte» —пишетъ онъ, если она введетъ «cette imbécillité de la télégraphie électrique». Первыя длинныя линiи устроены въ Англiи въ 1839 году, въ Америкѣ въ 1844, въ Италiи въ 1847, въ Германiи въ 1849, въ Австрiи въ 1851, въ Швецiи въ 1853 г. и т. д.

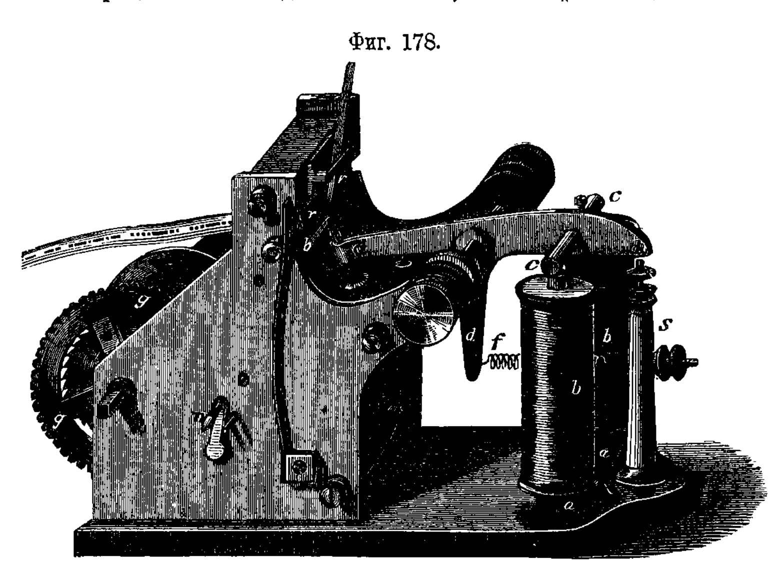
Осенью 1838 года *Штейнгейлъ* въ Мюнхенѣ открылъ, что станцiи достаточно соединять одною проволокою, замѣняя другую землею. Объ этомъ подробно было сказано на стр. 101 и 102.

Телеграфные приборы можно раздѣлить на 4 главныхъ разряда: на *аппараты со стрѣлками*, *съ циферблатами*, *пишущiе* и *печатающiе*. Конечно, многiе уже вышли изъ употребленiя. Аппараты со стрѣлками были первые; они были впервые устроены, какъ мы видѣли, Шиллингомъ. Аппараты съ циферблатами были устроены Якоби, Витстономъ, Брегетомъ, Генлеемъ, Сименсомъ, Дю-Монселемъ и многими другими. Идея большинства этихъ приборовъ заключается въ томъ, что электромагнитъ, при пропусканiи тока, привлекаетъ къ себѣ якорь, всякое движенiе котораго перемѣщаетъ стрѣлку, которая двигается по циферблату; при этомъ можно было съ одной станцiи заставить стрѣлку на циферблатѣ другой станцiи остановиться на опредѣленномъ мѣстѣ циферблата, противъ написанной въ этомъ мѣстѣ буквы. Пишущiе аппараты были устроены: Штейнгейлемъ, Морзе, Динье, Сорре, Сименсомъ и т. д.

Аппаратъ Морзе (фиг. 178) состоитъ изъ слѣдующихъ частей: электромагнитъ *bb* и подвижной рычагъ *dd*, къ одному концу котораго прикрѣпленъ якорь *cc*, къ другому—штифтикъ; при пропусканiи тока

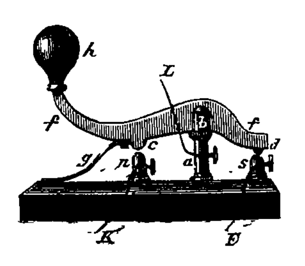
черезъ электромагнитъ якорь опускается внизъ, штифтикъ поднимается и нажимаетъ на бумажную ленту, которая протягивается, валикомъ *r*, мимо него, посредствомъ часоваго механизма. По исчезновенiи тока, рычагъ *dd* возвращается въ прежнее положенiе отъ дѣйствiя пружины *f*. Если токъ продолжается одно мгновенье, то штифтикъ дѣлаетъ на лентѣ

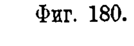
Фиг. 178.



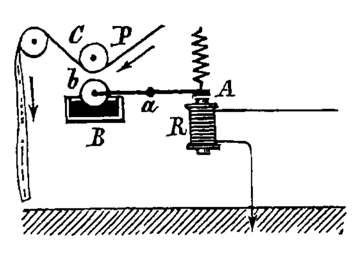
точку, при болѣе продолжительномъ — черточку. Изъ этихъ точекъ и черточекъ составленъ алфавитъ. Для замыканiя тока служитъ металлическiй манипуляторъ (фиг. 179). Металлическiй рычагъ *ff*, вращающiйся

Фиг. 179.





Фиг. 180.



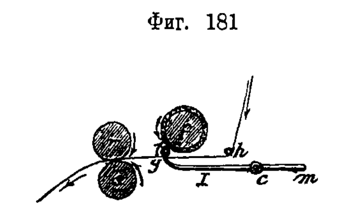
около точки *b*, снабженъ двумя бугорками *d* и *c*, противъ которыхъ находятся выступы съ зажимными винтами *n* и *s*. Пружина *g* удерживаетъ рычагъ въ положенiи, показанномъ на чертежѣ. Проволока *L* соединена съ линiею, соединяющею станцiи; *E* соединена съ прiемнымъ аппаратомъ станцiи и оттуда съ землею; *K* соединена съ батареею. При полученiи депеши токъ идетъ по направленiю *LabfdsE* въ

пріемный аппаратъ; при отправленіи нажимаютъ на h, такъ что c и n приходятъ въ соприкосновеніе; тогда токъ батареи идетъ по направленію $KncbaL$ въ линію къ манипулятору и пріемному прибору другой станціи.

Измѣненіе прибора Морзе заключается въ томъ, что вмѣсто штифтика помѣщается на концѣ рычага колесо b (фиг. 180), нижняя часть котораго погружена въ сосудъ съ густыми чернилами. Поднимающееся колесо задѣваетъ бумажную ленту P, на которой уже остается чертежъ,— не вдавленный только, а дѣйствительно написанные знаки, которые удобно читаются и сохраняются.

Другое видоизмѣненіе прибора Морзе представляетъ приборъ Динье (фиг. 181), въ которомъ на концѣ рычага находится остріе g, а надъ бумажною лентою имѣется колесо, которое находится въ соприкосновеніи съ валькомъ f, покрытымъ краской; въ моментъ подъема острія, оно прижимаетъ ленту къ колесу, такъ что на лентѣ получается знакъ.

Фиг. 181



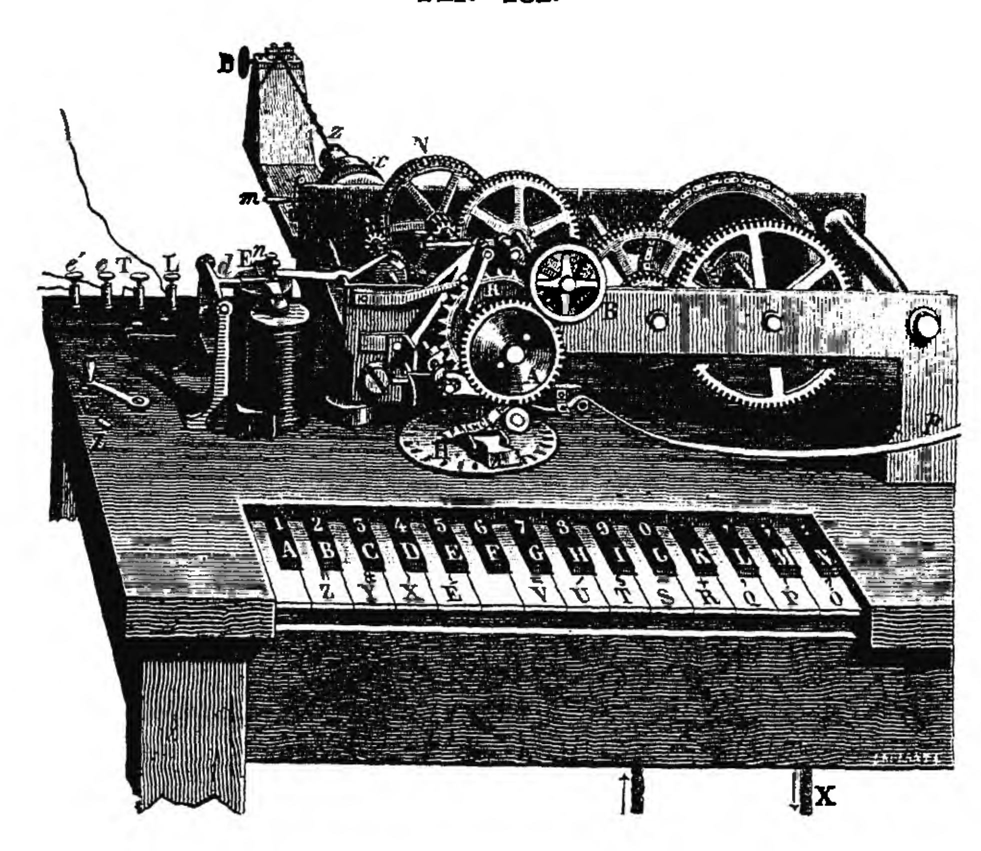
Врядъ ли нужно распространяться о значеніи телеграфа. Извѣстно, какіе быстрые шаги сдѣлала исторія съ тѣхъ поръ, какъ былъ введенъ электромагнитный телеграфъ. Онъ имѣетъ неподдающееся опредѣленію значеніе для передачи частной корреспонденціи, оказывая огромное вліяніе на торговлю и промышленность. Предсказанія о погодѣ по телеграфу на береговыхъ полосахъ имѣютъ въ настоящее время уже большое значеніе, особенно на берегахъ Англіи. Въ Швеціи рыболовы по телеграфу узнаютъ своевременно о появленіи сельдей. Телеграфъ играетъ важную роль при изслѣдованіи уголовныхъ преступленій; телеграфъ, въ примѣненіи къ желѣзнодорожному дѣлу, служитъ важную службу, особенно при сообщеніи о мѣстонахожденіи поѣздовъ. Телеграфъ полевой играетъ роль во время войны. Телеграфъ служитъ важнымъ подспорьемъ при опредѣленіи разности долготъ двухъ мѣстностей. Итакъ, телеграфъ приноситъ человѣку неоцѣнимую пользу. Будемъ помнить, что въ Россіи и русскими учеными положены основанія этому великому дѣлу.

Печатающихъ приборовъ существуетъ громадное число; мы ограничимся указаніемъ, въ краткихъ словахъ, на сущность устройства *печатающаго прибора* знаменитаго изобрѣтателя микрофона, *Юза* (родившагося въ Лондонѣ въ 1831 г.), который существенно отличается отъ предшествовавшихъ ему такихъ же приборовъ

Прежде всего движеніе въ приборѣ Юза производится не токомъ, а опускающимся грузомъ, вѣсомъ около 4-хъ пудовъ. Далѣе въ приборѣ Юза, какъ и во многихъ другихъ печатающихъ телеграфныхъ приборахъ,

буквы размѣщены на концахъ зубчиковъ вращающагося колеса; при устройствѣ всѣхъ предшествовавшихъ приборовъ предполагалось однако необходимымъ, чтобы колесо хотя бы на моменты останавливалось, чтобъ отпечатать букву на бумажной лентѣ; Юзъ—первый, въ приборѣ котораго печатающее колесо непрерывно вращается, печатая на лету. Въ приборѣ Юза электромагнитъ дѣйствуетъ обратно, чѣмъ электромагниты въ другихъ приборахъ; катушки въ немъ насажены не на желѣзные стержни, а на стальной магнитъ; токъ пропускается въ такомъ направленіи, что отъ его дѣйствія притягательная сила магнита уменьшается.

Фиг. 182.



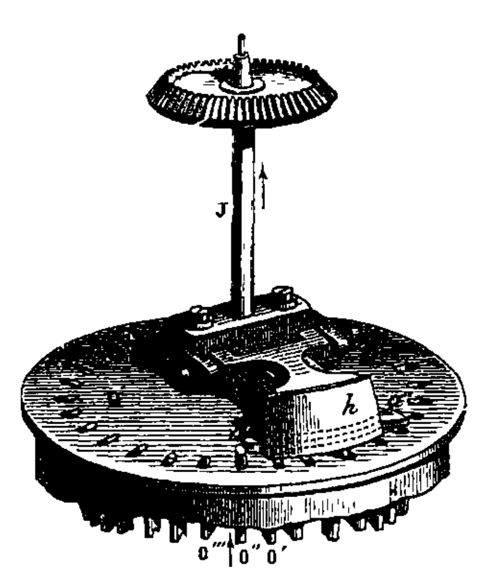
Существенныя части прибора Юза суть: клавіатура, вращающійся замыкатель и часть печатающая. Онъ изображенъ на фиг. 182.

Клавіатура состоитъ изъ 28 клавишей, изъ которыхъ каждая соотвѣтствуетъ двумъ буквамъ или знакамъ, вырѣзаннымъ на клавишахъ, какъ показано на чертежѣ. На русскихъ приборахъ 14 черныхъ клавишъ соотвѣтствуютъ буквамъ отъ А до О и, кромѣ того, цифрамъ отъ 1 до 9, нулю и буквамъ ф, ц, ш и щ; изъ 14-ти бѣлыхъ клавишъ, первая и шестая клавиша съ лѣвой стороны оставлены пустыми (см. фиг. 182) — онѣ имѣютъ особенное значеніе, о которомъ будетъ сказано впослѣдствіи; другія 12 соотвѣтствуютъ остальнымъ буквамъ, шести знакамъ препинанія, знаку равенства и дробной чертѣ.

Всего клавиши соотвѣтствуютъ, слѣдовательно, 52 буквамъ и знакамъ. Посреди стола находится мѣдный кругъ *H* (фиг. 182 и 183), съ 28 отверстіями. Подъ каждымъ изъ этихъ отверстій находится по металлическому болтику *O′*, *O″*....(фиг. 183), который посредствомъ си-

стемы рычаговъ соединенъ съ одною изъ клавишъ. При надавливаніи на клавишу болтикъ изъ отверстія выходитъ къ верху (O'' на фиг. 183). Надъ серединою круга находится ось J (фиг. 183), къ нижнему концу которой придѣланъ широкій выступъ h, такъ называемая телѣжка. Опускающійся грузъ, дѣйствующій на цѣпи (X, фиг. 182), нижнія части которыхъ не помѣщены на чертежѣ, приводитъ во вращательное движеніе систему колесъ, съ которой сцѣплено и горизонтальное колесо, надѣтое на ось J; вмѣстѣ съ осью приходитъ въ быстрое вращательное движеніе и телѣжка h, дѣлающая примѣрно 2 оборота въ секунду. Тотъ же самый грузъ приводитъ въ движеніе печатающее типовое колесо A съ 56 зубчиками, на которыхъ вырѣзаны послѣдовательно выпуклыя буквы и знаки, соотвѣтственно буквамъ и знакамъ клавіатуры, такъ что всѣ четные зубцы соотвѣтствуютъ, напримѣръ, первымъ — нечетныя вторымъ значеніямъ клавишъ. Валекъ B, находящійся въ соприкосновеніи съ этимъ печатающимъ колесомъ, наводитъ на него краску; онъ обернутъ шерстяною матеріею, пропитанною густыми чернилами. Движеніе оси J съ телѣжкою h и типоваго колеса A регулированы такимъ образомъ, что если телѣжка находится какъ разъ надъ болтикомъ, соотвѣтствующимъ опредѣленной буквѣ, то та же буква будетъ находиться на нижнемъ зубчикѣ типоваго колеса; если напримѣръ телѣжка h будетъ надъ болтикомъ, соотвѣтствующимъ буквѣ $Б$, то въ этотъ же моментъ буква $Б$ будетъ находиться въ самой нижней точкѣ колеса A.

Фиг. 183.



Печатающая часть, кромѣ типоваго колеса A и валика B, состоитъ главнымъ образомъ еще изъ маленькаго валика, надъ которымъ проходитъ бумажная лента. Этотъ валикъ поднимаетъ въ надлежащій моментъ бумажную ленту, такъ что на ней получается отпечатокъ буквы, находящейся въ этотъ моментъ въ нижней части колеса; въ то же время валикъ передвигаетъ ленту дальше.

Токъ вводится въ приборъ въ L и T; онъ проведенъ къ вращающейся оси J и къ 28 болтикамъ, о которыхъ выше было говорено.

Если ось J съ телѣжкою h не находится въ соприкосновеніи съ болтиками, токъ не будетъ замкнутъ; онъ будетъ замкнутъ, если телѣжка h коснется какого либо изъ болтиковъ; токъ пройдетъ тогда и черезъ стальной электромагнитъ E, ослабляя его, вслѣдствіе чего якорь n поднимается къ верху отъ дѣйствія особой пружины; другая половина ры-

чага, къ которому прикрѣпленъ якорь, опустится и произойдетъ сложное зацѣпленіе, которое разсматривать не будемъ. Вслѣдствіе этого маленькій валикъ на мгновеніе приподнимется и бумага коснется типоваго колеса *A*.

Теперь не трудно уяснить себѣ сущность дѣйствія этого прибора.

Когда посылается депеша, то телеграфистъ нажимаетъ на клавиши, соотвѣтствующія послѣдовательнымъ буквамъ и знакамъ; тогда депеша печатается на бумажной лентѣ другой станціи; для повѣрки дѣйствія, она печатается также на бумажной лентѣ передающаго депешу аппарата. Это происходитъ слѣдующимъ образомъ: при нажатіи на клавишу, изъ отверстія пластинки *H* выступаетъ къ верху болтикъ, который соотвѣтствуетъ клавишѣ. Вслѣдствіе того, что выступъ вращается со скоростью 2 оборотовъ въ секунду, онъ, несомнѣнно, коснется очень скоро этого болтика. Въ этотъ моментъ токъ замыкается, электромагнитъ *E* нѣсколько размагнитится, якорь *n* приподнимется, произойдетъ зацѣпленіе, маленькій валикъ приподниметъ бумажную ленту до соприкосновенія съ типовымъ колесомъ *A* и буква печатается на лентѣ. Изъ предъидущаго ясно, что это будетъ какъ разъ та буква, соотвѣтственно которой была нажата клавиша и приподнялся болтикъ. Послѣ того токъ прерывается и механизмъ самъ собою опускаетъ и болтикъ, и маленькій валикъ. Если, напримѣръ, надавить на четвертую слѣва черную клавишу, на русскихъ приборахъ буква *Г*, то приподнимется соотвѣтствующій болтикъ; въ моментъ соприкосновенія къ нему телѣжки *h* въ самомъ низу вращающагося типоваго колеса находится буква *Г*, которая и напечатается на бумажной лентѣ, такъ какъ въ этотъ же моментъ токъ замыкается, якорь *n* приподнимается, происходитъ зацѣпленіе и приподнимается валикъ, поддерживающій бумажную ленту.

Каждая клавиша имѣетъ еще значеніе второй буквы или знака. Зубчики, на которыхъ вырѣзаны эти буквы и знаки, чередуются съ зубчиками, на которыхъ вырѣзаны буквы. Если мы колесо повернемъ на $^1/_{56}$ долю полнаго оборота, то понятно, что первый рядъ зубчиковъ какъ разъ попадетъ на мѣсто зубчиковъ втораго ряда. Такое поворачиваніе типоваго колеса и происходитъ, когда надавить на шестую, съ лѣвой стороны, бѣлую клавишу. Если послѣ этого надавить на четвертую слѣва черную клавишу, которая на русскихъ приборахъ соотвѣтствуетъ теперь уже не буквѣ *Г*, но цифрѣ 4, то въ моментъ, когда телѣжка *h* замкнетъ токъ, т. е. будетъ касаться того же болтика, соотвѣтствующаго и буквѣ *Г*, и цифрѣ 4, въ самой нижней части типоваго колеса будетъ находиться не зубецъ съ буквою *Г*, а сосѣдній съ нимъ зубецъ съ цифрою 4. Когда требуется вернуться опять къ первому ряду буквъ, то нажимаютъ на первую слѣва бѣлую клавишу, и тогда типовое колесо вращается въ обратную сторону на $^1/_{56}$ долю полнаго оборота.

Для того, чтобы и на другой станціи печатались съ одинаковою вѣрностью всѣ буквы и знаки, необхо и мо, чтобы типовое колесо на дру-

гой станціи вращалось съ одинаковою скоростью и вообще совершенно одинаково съ колесомъ печатающаго прибора, т. е. чтобы въ тѣ же моменты и на другой станціи тѣ же самыя буквы были внизу, иначе, чтобы движеніе обоихъ колесъ было вполнѣ синхроническое.

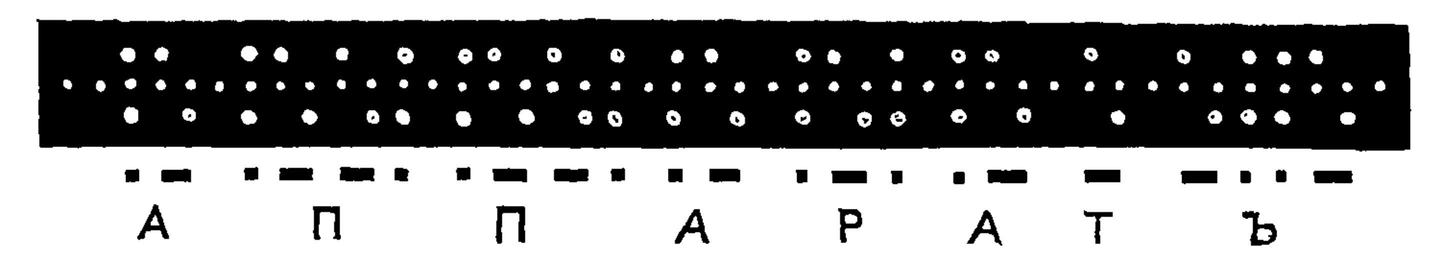
Нельзя не упомянуть, что одно изъ важнѣйшихъ усовершенствованій аппарата Юза, относящееся до регулирующаго движенія горизонтальнаго маятника, введенное какъ въ Россіи, такъ и повсемѣстно, на всѣхъ заграничныхъ телеграфахъ, было придумано главнымъ механикомъ Московскаго Городскаго Телеграфа *Э. Ѳ. Краевскимъ*. Телеграфный аппаратъ Юза былъ введенъ во Франціи въ 1861 г., въ Италіи въ 1862 г., въ Великобританіи въ 1863 г., въ Россіи въ 1865 г., въ Австріи и Турціи въ 1867 г. и т. д.

Приборъ Юза даетъ возможность передавать до 30 словъ въ минуту, тогда какъ на аппаратѣ Морзе можно передавать не болѣе 15 словъ.

Автоматическій аппаратъ *Витстона*, который также употребляется на нѣкоторыхъ линіяхъ, даетъ возможность передавать до 120 словъ въ минуту.

При телеграфированіи по способу Витстона телеграмма должна быть сперва переведена отправителемъ на бумажную ленту, на которой она представляется въ видѣ тройнаго ряда дырочекъ, пробиваемыхъ въ

Фиг. 184.

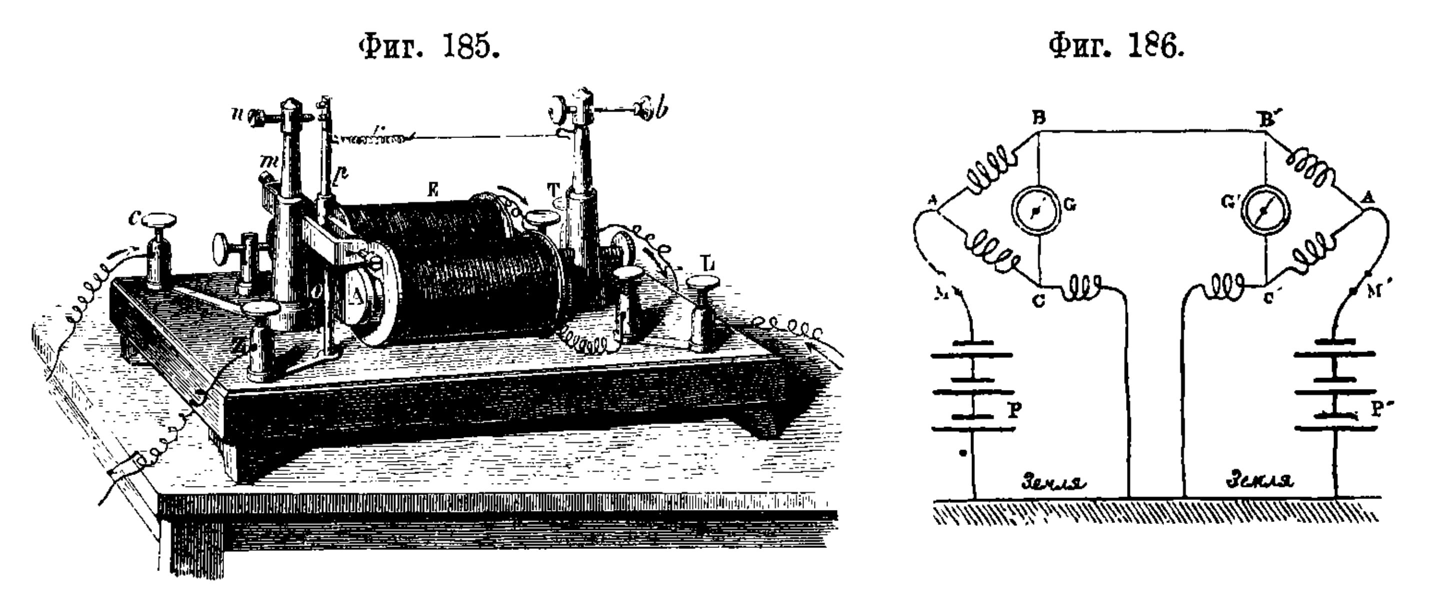


лентѣ посредствомъ особаго прибора, называемаго перфораторомъ. На фиг. 184 изображена такая лента; средній рядъ дырочекъ служитъ направляющей для всего ряда. Остальныя дырочки изображаютъ буквы по алфавиту Морзе; двѣ дырочки, стоящія другъ противъ друга, изображаютъ точку, а двѣ, стоящія по діагонали—черточку. На лентѣ (фиг. 184) вы писано слово «аппаратъ». Приготовленная лента протягивается черезъ приборъ, отсылающій депешу, которая на другой станціи возпроизводится на лентѣ обыкновеннымъ шрифтомъ Морзе.

Когда въ цѣпь введена весьма длинная проволока, то токъ очень ослабѣваетъ и даже можетъ не произвести надлежащаго дѣйствія на аппаратѣ другой станціи. Тогда вводится вспомогательный приборъ, называемый релэ; онъ изображенъ на фиг. 185. Токъ, идущій отъ первой станціи, проходитъ на второй только черезъ особый, вспомогательный

электромагнитъ E, дѣйствующій на легкій якорь A, прикрѣпленный къ одному концу рычага p. При пропусканіи тока съ другой станціи, этотъ якорь притягивается къ электромагниту, вслѣдствіе чего другимъ концомъ рычага, ударяющимъ въ штифтикъ n, замыкается токъ мѣстной батареи, въ цѣпь которой введенъ аппаратъ Морзе, на которомъ и получаются знаки. Токъ телеграфный входитъ въ электромагнитъ E съ правой стороны; токъ мѣстной батареи проведенъ къ зажимнымъ винтамъ C и Z.

Дуплексомъ называется такая комбинація приборовъ, при которой можно на одной проволокѣ одновременно телеграфировать въ двухъ противуположныхъ направленіяхъ. *Квадруплексъ*—такая комбинація, при которой на одной проволокѣ одновременно передаются четыре депеши,



Фиг. 185. Фиг. 186.

по двѣ съ каждой стороны и *мультиплексъ*—еще большее число одновременно передающихся депешъ.

Квадруплексъ былъ изобрѣтенъ и описанъ еще въ 1859 г. на русскомъ языкѣ г. *Слонимскимъ*.

Мы ограничимся разсмотрѣніемъ одной системы дуплексъ, изображенной на фиг. 186. P и P' двѣ батареи; G и G' воспринимающіе депешу приборы; BB' линія, соединяющая станціи. Распредѣленіе проводовъ и четыре соединенія съ землею ясны изъ чертежа. Сущность дѣла заключается въ томъ, что токъ, получающійся при нажиманіи манипулятора M на одной станціи, дѣйствуетъ только на приборъ другой станціи. Положимъ, что въ лѣвой станціи замыкается токъ батареи P; этотъ токъ раздваивается по проволокамъ AB и AC; половина уходитъ въ землю, другая по ABB' идетъ къ другой станціи; черезъ приборъ G токъ не проходитъ. На другой же станціи токъ въ B' вновь развѣтвляется, причемъ часть его проходитъ черезъ воспринимающій приборъ G'. Наоборотъ, токъ правой станціи не дѣйствуетъ на G', но дѣйствуетъ на G.

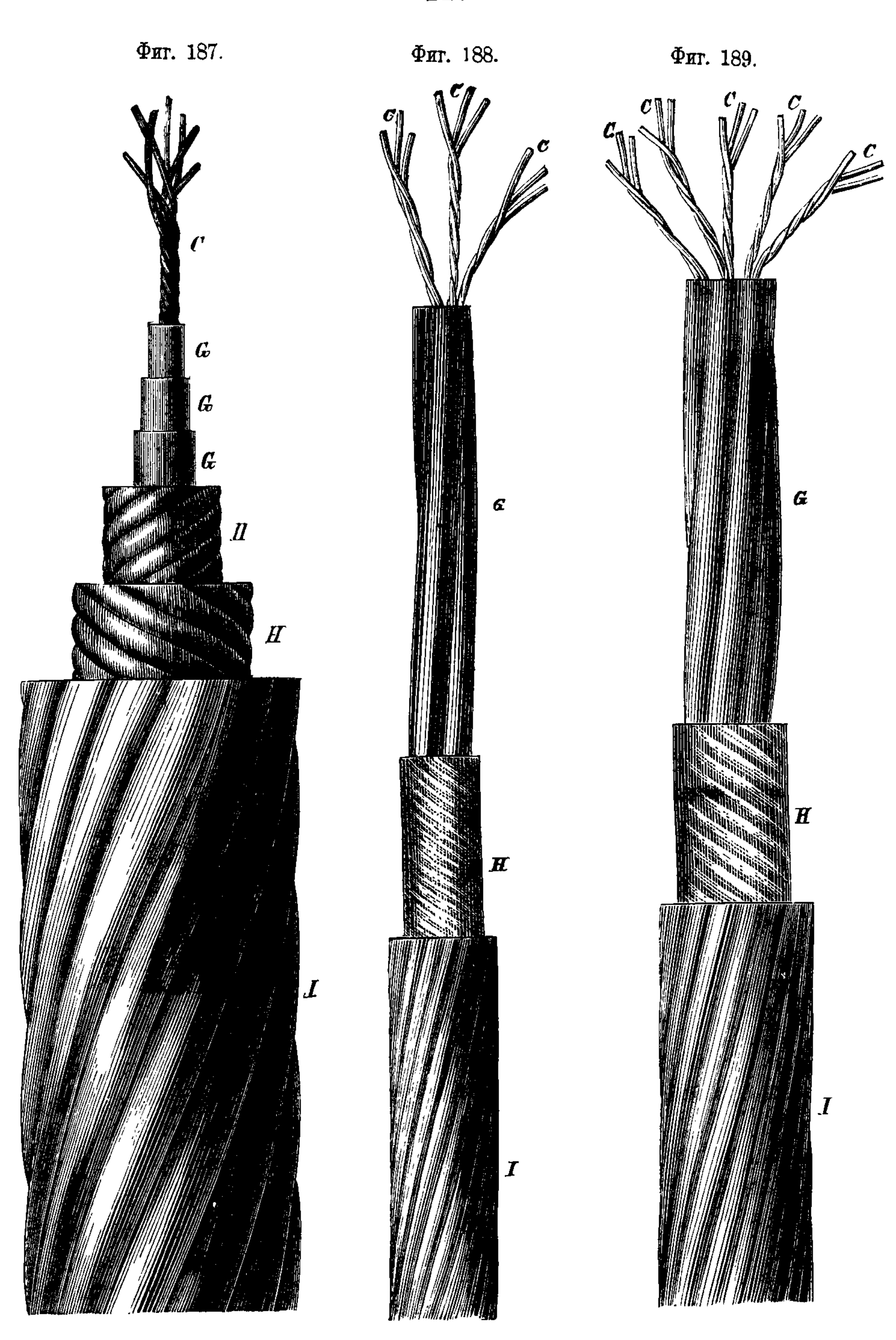
Въ Іюлѣ 1840 г. *Витстонъ* предложилъ устроить подводные кабели и въ 1851 г. первый кабель былъ проложенъ между Кале и

Дувромъ. Онъ состоялъ изъ 4 мѣдныхъ проволокъ, изъ которыхъ каждая была окружена слоемъ гутта-перчи, а всѣ онѣ вмѣстѣ были окружены изолирующею массою изъ пеньки, пропитанной смолой и саломъ; снаружи находится слой желѣзныхъ проволокъ. Якоря часто портили этотъ кабель. Въ 1859 году онъ былъ замѣненъ новымъ.

Въ 1857 г. *Дэманъ* изслѣдовалъ дно Атлантическаго океана, причемъ оказалось, что дно отъ Ирландіи, на разстояніи 45 миль, медленно опускается до глубины 33,000 ф., потомъ вдругъ подымается до 10,550 ф. и затѣмъ на разстояніи 280 миль поверхность дна ровная. Эта поверхность получила названіе «Телеграфное плато». Въ 1857 г. была сдѣлана первая попытка прокладки кабеля изъ Европы въ Америку, но онъ разорвался не далеко отъ берега. Въ 1858 г. послѣдовала вторая попытка; удалось проложить кабель, но онъ дѣйствовалъ только 30 дней. Въ 1865 г. была сдѣлана новая попытка съ кабелемъ, содержавшимъ 7 мѣдныхъ проволокъ, окруженныхъ изолирующимъ веществомъ Chatterton-Compound и гуттаперчей; снаружи кабель былъ обвитъ 10-ю желѣзными проволоками. 23 Іюля пароходъ «Great Eastern» отправился съ кабелемъ, но 2-го Августа кабель разорвался и конецъ его не могъ быть найденъ. 27 Іюля 1866 г. кабель былъ, наконецъ, благополучно проложенъ до Америки и при этомъ найденъ былъ и конецъ кабеля, потерянный въ 1865 г.

Въ настоящее время огромное число кабелей проложено почти во всѣхъ моряхъ свѣта. Они состоятъ изъ одного или нѣсколькихъ проводниковъ, для которыхъ обыкновенно берется мѣдная проволока, окруженная слоемъ изолирующаго вещества, гуттаперчи или каучука; затѣмъ идутъ пеньковыя плетенія и броня, состоящая изъ желѣзныхъ проволокъ, обвитыхъ винтообразно вокругъ кабеля; наконецъ, снаружи броня покрыта смолистымъ составомъ или пеньковыми плетеніями, предохраняющими ее отъ ржавчины. Желающихъ подробнѣе ознакомиться съ этимъ вопросомъ отсылаемъ къ сочиненіямъ *Н. Писаревскаго*, изъ которыхъ заимствованы и нижеслѣдующіе чертежи. На фиг. 187 изображенъ кабель съ одною, на фиг. 188—съ тремя, на фиг. 189—съ пятью изолированными гуттаперчей *G* мѣдными жилами *C*; *H* пеньковыя плетенія, *J* броня изъ желѣзныхъ проволокъ. На фиг. 190 и 191 изображенъ кабель, сбоку и въ разрѣзѣ, состоящій изъ семи жилъ, каждая изъ семи проволокъ. Проволоки, составляющія броню, оставляютъ иногда прямыми, сдерживая ихъ одною спиральною стальною проволокою, фиг. 192.

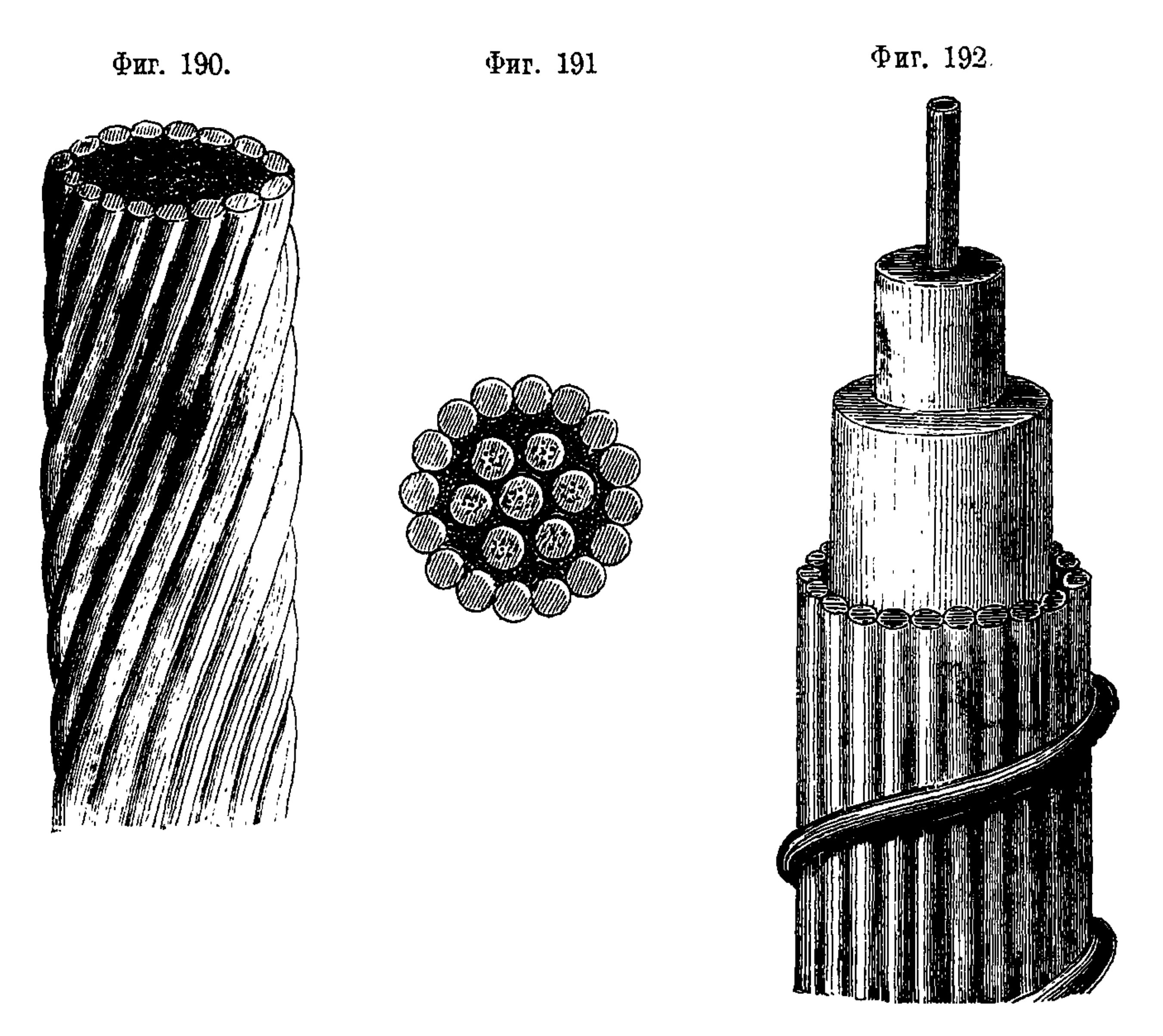
Иногда окружаютъ пеньковыя плетенія двойною бронею; такой кабель представленъ въ разрѣзѣ на фиг. 193. На фиг. 194 изображенъ разрѣзъ кабеля, броня котораго состоитъ изъ 12-ти пучковъ, изъ которыхъ каждый составленъ изъ 6-ти сплетенныхъ между собою проволокъ.



На морскомъ днѣ кабели подвергаются болѣе разнообразнымъ опасностямъ, чѣмъ проволоки воздушныхъ телеграфовъ. Ледяныя горы, тре-

ніе объ скалы, коралловыя строенія, подводныя землетрясенія и изверженія, высокая температура около тропиковъ, дѣятельность мелкихъ и крупныхъ животныхъ—акулы, пилы рыбы—все это угрожаетъ кабелю. Въ 1872 г. кабель въ Персидскомъ заливѣ былъ разорванъ китомъ.

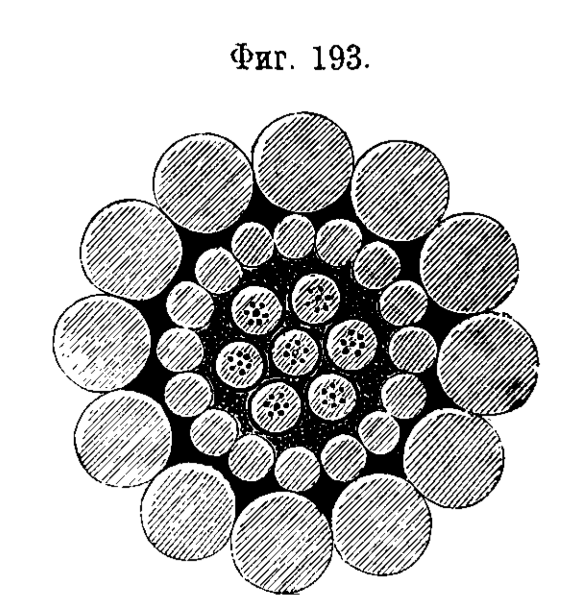
Передача депешъ черезъ кабели затрудняется особымъ обстоятельствомъ. Если соединить одинъ электродъ батареи съ землею, а другой съ однимъ концомъ весьма длиннаго кабеля, погруженнаго въ воду, то


Фиг. 190. Фиг. 191 Фиг. 192.

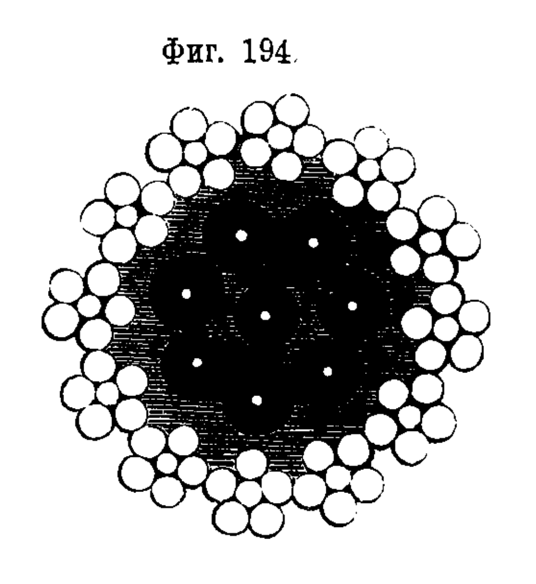
внутреннія проволоки кабеля, изолирующее вещество и окружающая вода океана составляютъ нѣчто въ родѣ конденсатора или Лейденской банки (стр. 25 и 26). Проволока кабеля соотвѣтствуетъ внутренней обкладкѣ банки, изолирующія вещества кабеля—стеклу и вода океана наружной обкладкѣ банки, соединенной съ землею. Если конецъ кабеля соединить съ положительнымъ полюсомъ батареи, то положительное электричество устремится въ проволоку, произойдетъ электростатическая индукція и на наружной поверхности кабеля накопится отрицательное электричество, которое будетъ задерживать теченіе положительнаго электричества въ кабелѣ; кабель, какъ говорятъ, заряжается, т. е. въ немъ накопляется большое количество электричества. Если кабель погрузить въ воду, при-

томъ одинъ его конецъ изолировать, другой соединить съ батареею и затѣмъ, отдѣливъ батарею, соединить второй конецъ съ землею, то можетъ обнаружиться разрядъ кабеля въ видѣ значительной искры или сильнаго отклоненія магнитной стрѣлки въ гальванометрѣ. Какъ сказано, вслѣдствіе заряда кабеля происходитъ замедленіе движенія въ немъ электричества, а слѣдовательно и передачи депеши. Время, которое потребно для того, чтобы послѣ замыканія тока, на концѣ кабеля, соединенномъ съ землею, обнаружилось первое электрическое дѣйствіе, пропорціонально квадрату длины его, т. е. если проволока будетъ въ 4 раза длиннѣе, то передача будетъ происходить въ 16 разъ медленнѣе. Если въ Англіи замкнутъ токъ, то черезъ 0,2 сек. въ Америкѣ еще никакого дѣйствія не проявляется, черезъ 0,4 сек. въ Америкѣ токъ дости-

Фиг. 193.



Фиг. 194.



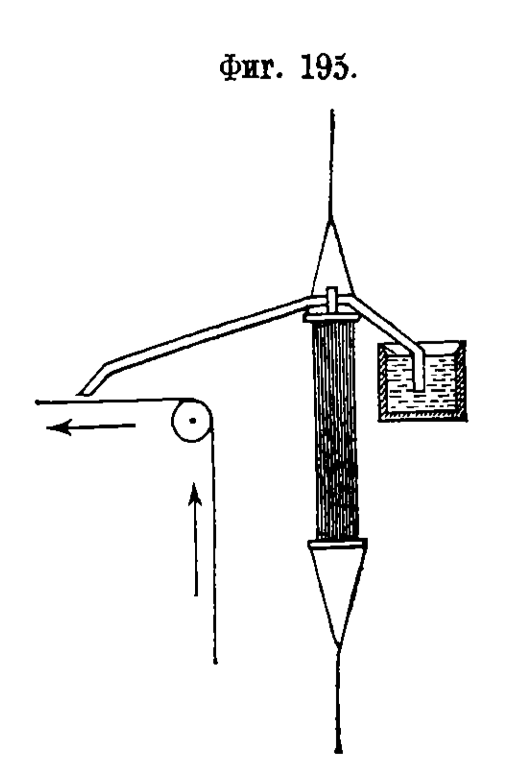
гаетъ 7% своего наибольшаго напряженія, черезъ 1 сек.—50% и только черезъ 3 сек. токъ достигаетъ максимума своей силы. Если раньше достиженія максимума, въ Европѣ соединить конецъ проволоки съ землею, то сила тока не внезапно, а медленно, хотя и тотчасъ же, начинаетъ въ Америкѣ спадать. Теорію передачи черезъ кабель далъ *Вильямъ Томсонъ* въ 1855 г. Для проволокъ воздушныхъ тоже существуетъ индукція, но весьма ничтожная, потому что разстояніе проволоки отъ земли значительное. Если воздушная проволока имѣетъ длину въ 350 верстъ и можно было бы въ секунду сдѣлать 20 замыканій тока, то каждый успѣвалъ бы на другомъ концѣ достигнуть максимума.

Въ кабелѣ, соединяющемъ Францію съ Америкой, послѣ каждаго замыканія, токъ на другомъ концѣ кабеля достигаетъ своего максимума только черезъ 8″. Ясно, что съ аппаратомъ Морзе при такихъ условіяхъ каждое слово телеграфировалось бы примѣрно въ 3 минуты что̀ дѣлало бы передачу депешъ по кабелю въ высшей степени медленно, а потому и чрезмѣрно дорого. Приходится пользоваться иными способами телеграфированія, при которыхъ возможно передовать до 17 словъ

въ минуту; при этомъ каждый отдѣльный токъ не достигаетъ (на другомъ концѣ кабеля) и $^{1}/_{100}$ своего максимума.

Существуютъ два главныхъ способа передачи и пріема депешъ черезъ кабели. Первый способъ заключается въ пріемѣ посредствомъ зеркальнаго гальванометра *Томсона* (фиг. 52, стр. 79). Токъ, проходящій черезъ кабель, пропускается черезъ мультипликаторъ весьма чувствительнаго гальванометра, внутри котораго виситъ магнитъ. Посредствомъ зеркальца и лампы получается зайчикъ на шкалѣ; при прохожденіи токовъ, зайчикъ начинаетъ двигаться, а если токъ будетъ проходить то въ одномъ, то въ другомъ направленіи, то зайчикъ будетъ имѣть въ высшей степени неправильныя движенія. Хорошо изучившій эти движенія, привыкшій къ нимъ, понимаетъ смыслъ каждаго изъ нихъ отдѣльно. Когда въ Европѣ происходитъ многократное замыканіе и размыканіе тока и токъ, соотвѣтствующій первому передаваемому знаку, еще не достигъ въ Америкѣ наибольшей силы, уже передается изъ Европы 20-тый, даже 24-тый знакъ. Очевидно, что вслѣдствіе этого проявленіе каждаго знака не составляетъ чего-либо законченнаго, а продолжается въ видѣ измѣненія слѣдующихъ знаковъ, — другими словами, каждый знакъ проявляется различно, смотря по тому, является ли онъ одинъ, или ему предшествовали опредѣленные другіе знаки. Дешифрированіе движеній зайчика очень трудно и телеграфистъ не можетъ долго имъ заниматься, такъ какъ приходится слѣдить глазами за движеніями блестящей точки, т. е. зайчика.

Фиг. 195.



На большихъ линіяхъ употребляется также знаменитый *Сифонъ-рекордеръ Вильяма Томсона*, напр. на линіи Аденъ-Бомбэй. Когда онъ былъ введенъ и соединенъ съ системою дуплексъ, то цѣна отъ 26 фр. за слово сразу упала до 4 фр. Сифонъ-рекордеръ состоитъ изъ 2 чрезвычайно сильныхъ электромагнитовъ, между которыми находится желѣзная полоска, окруженная проволочною спиралью, которая сбоку изображена на фиг. 195. Она виситъ наниткахъ. Нижняя его часть посредствомъ груза удерживается неподвижною. Спираль эта находится въ непосредственномъ соединеніи (или посредствомъ системы нитей) съ сифономъ—стеклянною трубкою, одинъ конецъ которой опущенъ въ сосудъ съ чернилами, между тѣмъ какъ другой касается бумажной движущейся ленты. Чернило медленно струится на ленту, такъ что на ней получается чернильная черта. Спираль, окружающая кусокъ мягкаго желѣза, введена въ главную цѣпь; вслѣдствіе дѣйствія сильныхъ элек-

тромагнитовъ, спираль нѣсколько вращается въ ту или другую сторону каждый разъ, когда черезъ нее проходятъ токи изъ кабеля. При этомъ спираль увлекаетъ съ собою трубку. Вслѣдствіе этого на движущейся лентѣ получаются чернильные зигзаги, приблизительно соотвѣтствующіе движеніямъ зайчика въ первомъ приборѣ. Изученіе различныхъ формъ зигзаговъ даетъ возможность читать по нимъ депешу, которая, такимъ образомъ, можетъ быть и сохранена, какъ документъ.

ЛЕКЦІЯ XIII.

Телефонъ и микрофонъ. Телефонъ Белля, его устройство и дѣйствіе; телефоны Говера, Адера, Сименса, Эдисона. Микрофоны Юза и Адера. *Прохожденіе электричества черезъ разрѣженные газы.* Роль конденсатора при спирали Румкорфа. Гейсслеровы трубки. Полосатость; опыты Грове, Кэ и Гассіо; объясненія Деларива и Гейтлингера. Флуоресценція и фосфоресценція. *Опыты Крукса* и объясненіе ихъ Крукса и Гинтля; четвертое, лучистое состояніе матеріи. *О термо-электричествѣ.* Простой термо-электрическій элементъ. Опытъ Зебека. Примѣненіе элементовъ. Термо-электрическія батареи Ноэ и Кламона. Разные случаи появленія термо-электрическихъ токовъ. Столбикъ Нобили. Опытъ Пельтье.

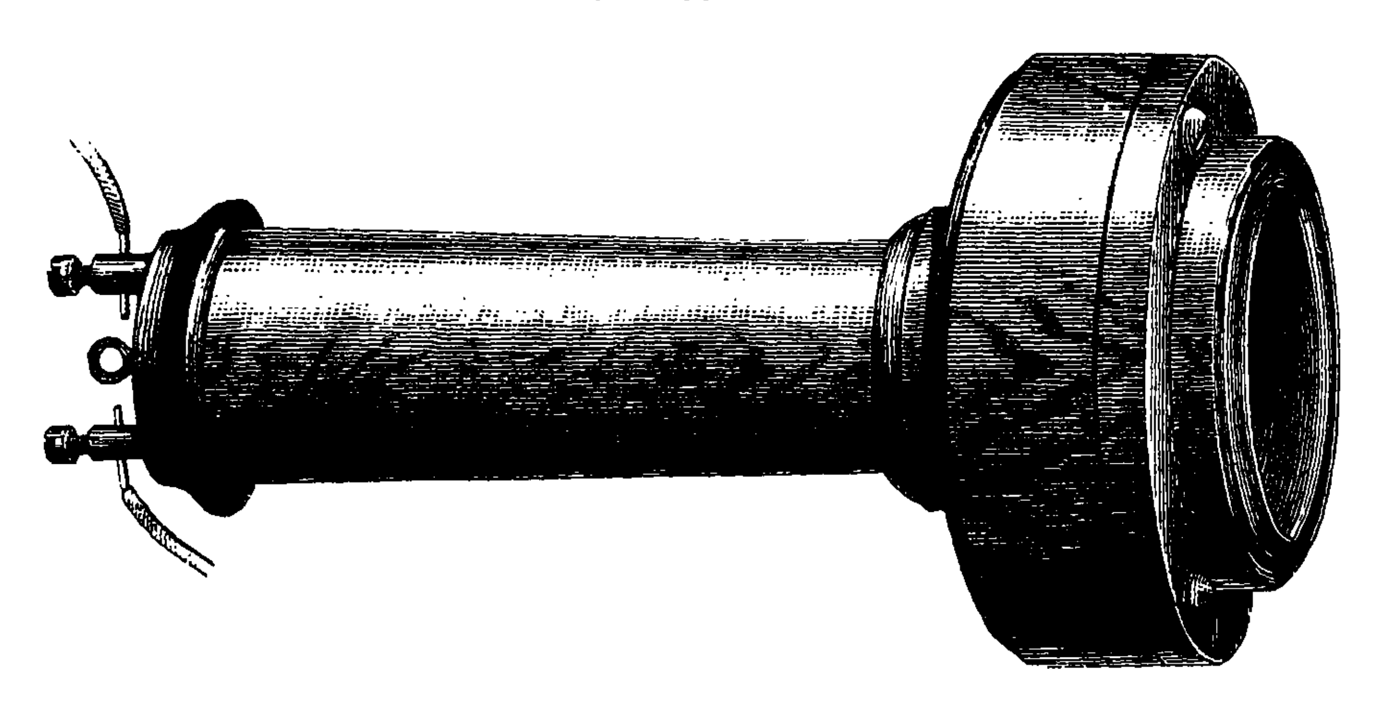
Телефонъ и микрофонъ.

Телефонъ по справедливости Вильямомъ Томсономъ былъ названъ чудомъ чудесъ. Чтобы объяснить дѣйствіе телефона, необходимо предпослать нѣсколько словъ о звукѣ вообще. Звукъ есть колебательное движеніе воздуха; сила звука зависитъ отъ длины размаха колебаній, высота звука—отъ числа колебаній въ секунду. Сложный звукъ получается при совокупности многихъ одновременныхъ колебаній, которыя вмѣстѣ даютъ опять-таки нѣкоторое колебательное движеніе, вообще, весьма сложнаго характера. Колебательное движеніе воздуха доходитъ до уха и передается черезъ посредство барабанной перепонки во внутрь уха. Тогда слышится звукъ, характеръ (тембръ) котораго зависитъ отъ всѣхъ входящихъ въ него составныхъ колебаній. Всякая пластинка, хотя бы металлическая, можетъ колебаться и передавать свое движеніе воздуху; но и наоборотъ, если въ воздухѣ происходятъ опредѣленнаго рода колебанія, то эти колебанія могутъ передаваться пластинкѣ, т. е. могутъ ее заставить колебаться.

Телефонъ *Белля* былъ привилегированъ 14-го Февраля 1876 г. Онъ изображенъ на фиг. 196; фиг. 197-я представляетъ полный его разрѣзъ; а фиг. 198-я показываетъ внутреннее устройство не въ разрѣзѣ. Устройство его чрезвычайно простое: въ деревянной оправѣ находится стальной магнитъ (*AB* на фиг. 197 и *A* на фиг. 198), на

одинъ конецъ котораго надѣта катушка (*DC*—фиг. 197, *B*—фиг. 198) изъ длинной, тонкой изолированной проволоки, концы которой идутъ къ двумъ зажимнымъ винтамъ (*K* и *J*—фиг. 197, *P*—фиг. 198). Противъ

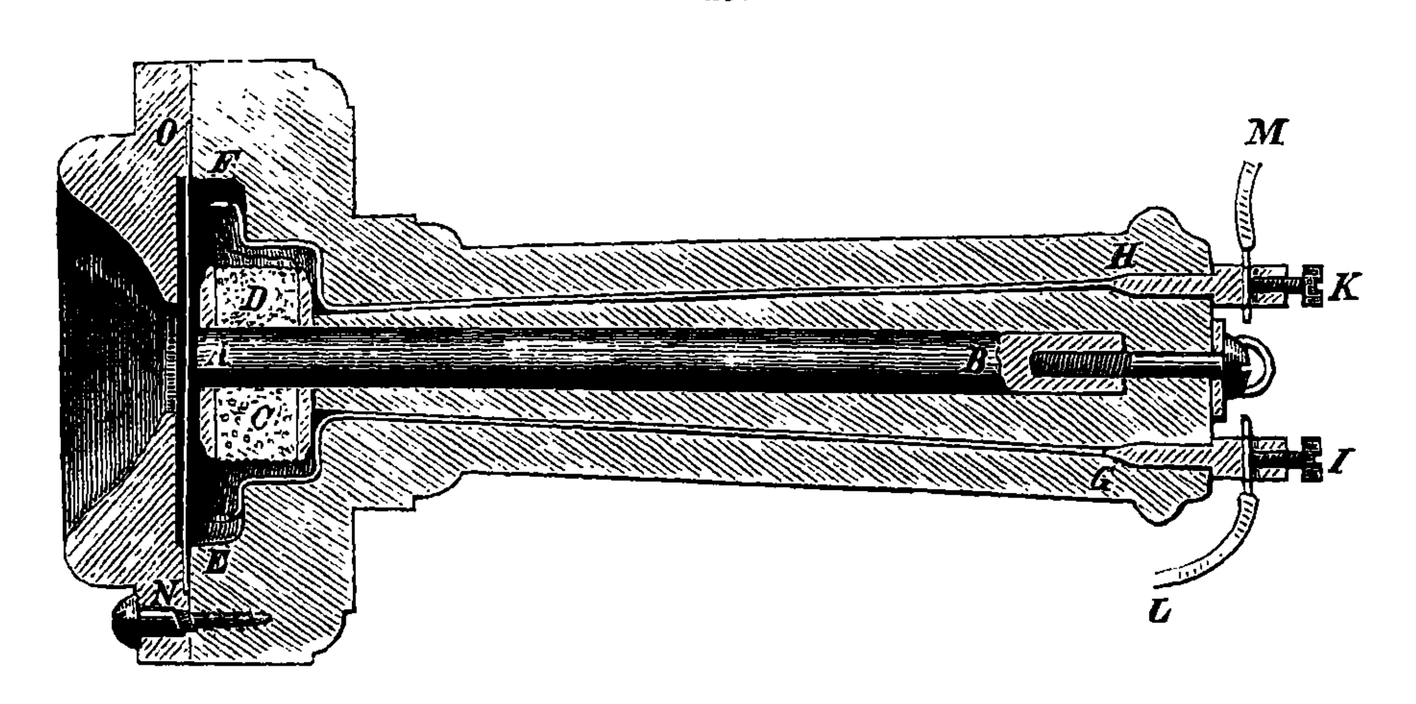
Фиг. 196.



того же конца магнита находится желѣзная пластинка (*ON*—фиг. 197, *O*—фиг. 198), составляющая дно той воронкообразной амбушюры (*B*—фиг. 198), въ которую говорятъ.

На двухъ станціяхъ находятся два одинаковыхъ телефона, соединенныхъ двумя проволоками, какъ показано на фиг. 199. Впрочемъ,

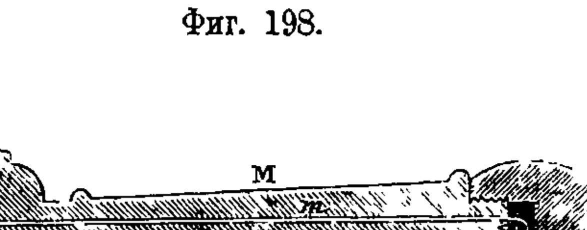
Фиг. 197.

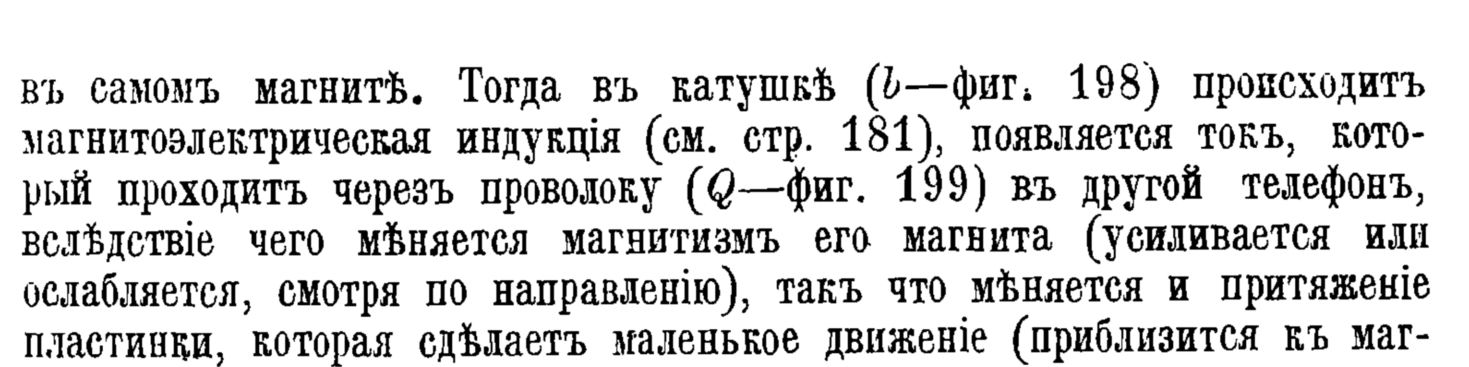


одну проволоку можно, какъ при телеграфированіи, замѣнить землею. Приложившій телефонъ *P'* къ уху слышитъ то, что говорится около

телефона *P*. Это объясняется слѣдующимъ образомъ. Говорящій въ амбушюру производитъ колебаніе воздуха, которое передается желѣзной пластинкѣ телефона. Положимъ, что, въ какой нибудь моментъ колебанія, пластинка приближается къ магниту; вслѣдствіе этого она сильнѣе намагничивается и подъ ея вліяніемъ происходитъ усиленіе магнитизма

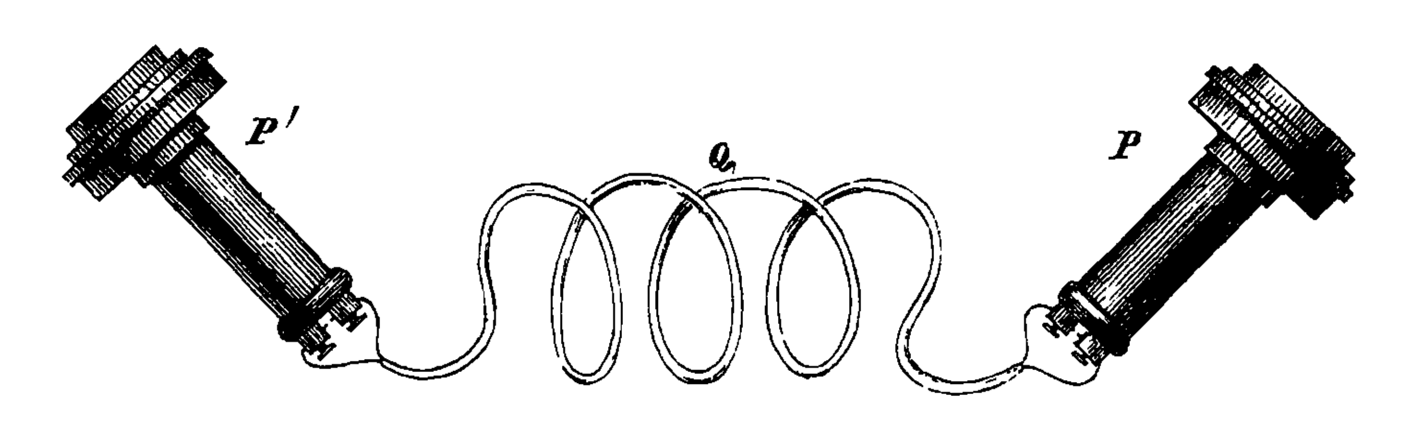
Фиг. 198.





въ самомъ магнитѣ. Тогда въ катушкѣ (*b*—фиг. 198) происходитъ магнитоэлектрическая индукція (см. стр. 181), появляется токъ, который проходитъ черезъ проволоку (*Q*—фиг. 199) въ другой телефонъ, вслѣдствіе чего мѣняется магнитизмъ его магнита (усиливается или ослабляется, смотря по направленію), такъ что мѣняется и притяженіе пластинки, которая сдѣлаетъ маленькое движеніе (приблизится къ маг-

Фиг. 199

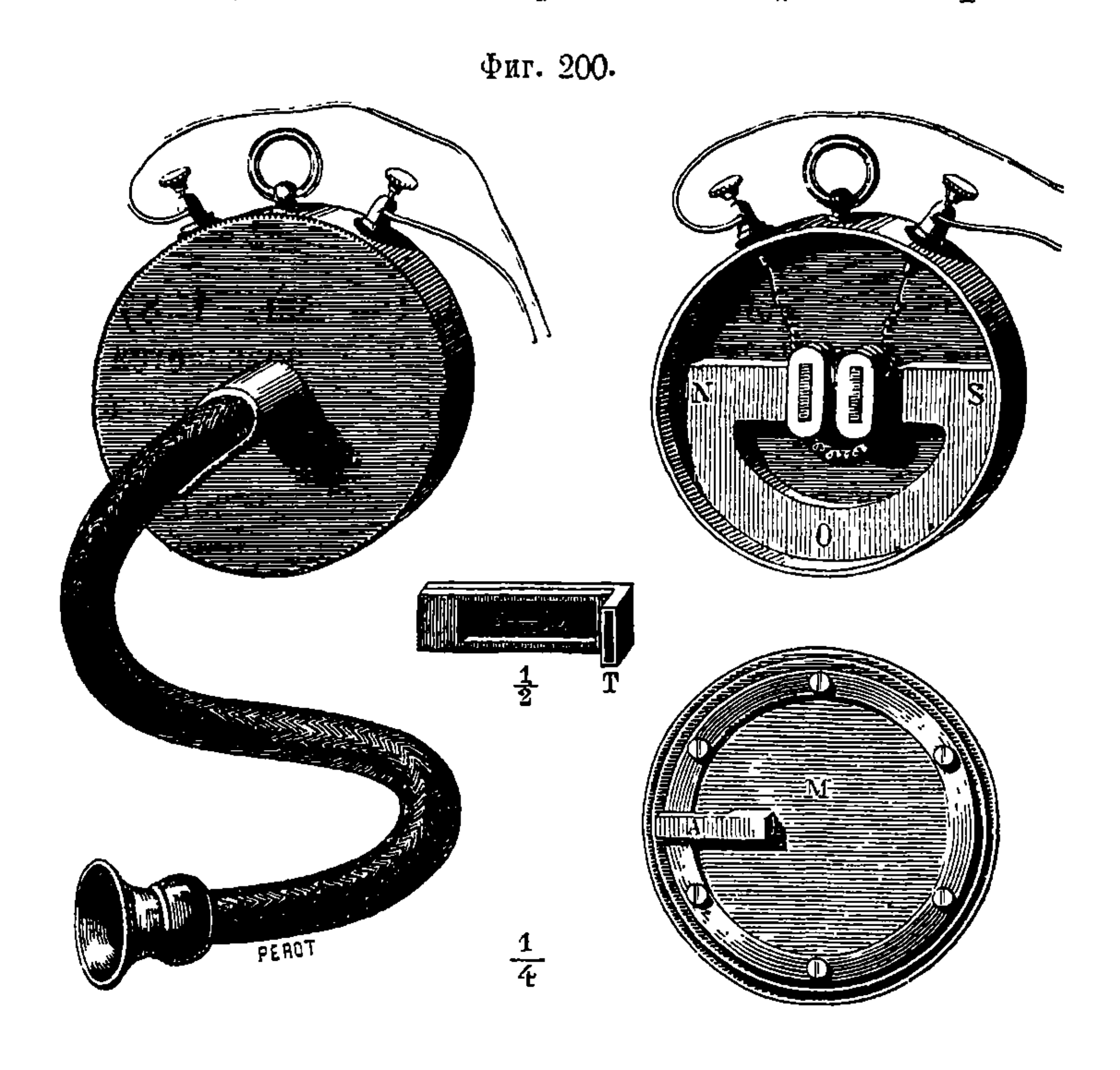


ниту, или удалится). Если затѣмъ пластинка перваго телефона станетъ удаляться отъ магнита, то въ катушкѣ индуктируется токъ, обратный предъидущему, вслѣдствіе чего, понятно, и движеніе пластинки втораго телефона будетъ обратное. Если пластинка перваго телефона будетъ колебаться, то пластинка втораго телефона придетъ въ колебаніе, вполнѣ соотвѣтствующее колебанію первой пластинки, какъ относительно силы размаха, такъ и относительно скорости и вообще характера движенія. Колебанія пластинки втораго телефона будутъ передаваться воздуху и эти колебанія по силѣ и характеру будутъ совершенно тожественны

первоначальнымъ колебаніямъ воздуха у перваго телефона. Понятно, что у второго телефона и ухо будетъ воспринимать впечатлѣнія колебаній воздуха, тожественныхъ съ тѣми, которыя производятся говорящимъ вблизи перваго телефона. Такимъ образомъ, мы можемъ сказать, что колебательное движеніе воздуха превращается сперва въ колебательное движеніе пластинки; это послѣднее даетъ «электрическое колебаніе», какъ нынѣ принято (не особенно ясно!) выражаться. Электрическое колебаніе вновь вызываетъ колебаніе пластинки (второй), а это переходитъ въ колебаніе воздуха.

Въ настоящее время существуютъ весьма многія видоизмѣненія телефона Белля. На фиг. 200-й изображенъ телефонъ *Говера*, состоящій

Фиг. 200.



изъ изогнутаго въ видѣ полукруга магнита *NOS*, концы котораго отогнуты и обвиты двумя катушками, такъ что оба полюса дѣйствуютъ одновременно. Все это помѣщено въ плоской коробкѣ, подъ крышкой которой расположена вибрирующая пластинка *M*. Для извѣщенія о желаніи переговаривать служитъ изогнутая подъ прямымъ угломъ трубка, содержащая звучащій язычекъ; она изображена отдѣльно посереди фиг. 200. Открытый конецъ *T* обращенъ къ вибрирующей пластинкѣ (см. нижній правый чертежъ), другой конецъ сообщенъ съ акустическою трубою (см. лѣвый чертежъ). Если вдувать воздухъ въ эту трубку, то на другой станціи получается въ телефонѣ звукъ, слышный на боль-

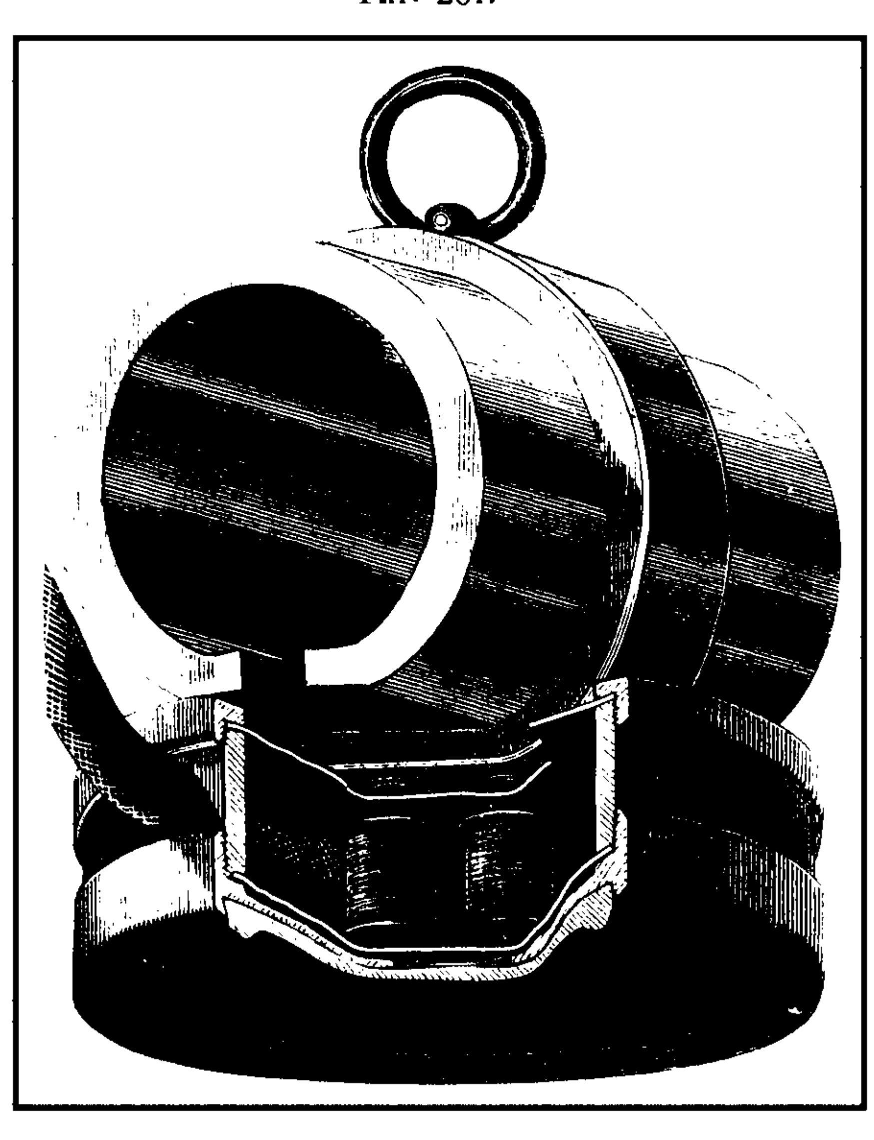
шомъ разстояніи. Телефонъ *Адера* имѣетъ кругообразную арматуру изъ мягкаго желѣза, помѣщенную въ массѣ самой амбушюры, впереди вибрирующей пластинки, вслѣдствіе чего усиливается дѣйствіе магнита.

Телефонъ *Сименса* мало отличается отъ телефона Белля; къ нему приспособленъ свистокъ, который вставляется въ амбушюру.

Какъ сказано, существуетъ въ настоящее время огромное число видоизмѣненій телефона; къ наилучшимъ нельзя не причислить телефонъ нашего соотечественника, г. *Голубицкаго*.

Въ послѣднее время обратилъ на себя вниманіе телефонъ *Охоровича*, изображенный на фиг. 201. Въ немъ магнитъ состоитъ изъ пустаго стальнаго цилиндра, толщина стѣнокъ котораго отъ 5 до 6 мм. На средней части цилиндра укрѣплены два стержня изъ мягкаго желѣза, съ насаженными на нихъ катушками, по которымъ проходитъ токъ, соотвѣтствующій силѣ вызываемыхъ *слуховыхъ* волнъ. Обѣ проволочныя катушки помѣщены въ металлической упругой коробкѣ, образуемой двумя тонкими желѣзными пластинками, которыя лежатъ краями на цилиндрической оправѣ и находятся въ параллельномъ положеніи одна къ другой. Нижняя пластинка, прочно прикрѣпленная къ магниту, имѣетъ два отверстія, чрезъ которыя могутъ свободно проходить оба желѣзные стержня. Посредствомъ магнитнаго дѣйствія послѣднихъ, коробка поддерживается въ напряженномъ состояніи, при чемъ обѣ жестяныя пластинки слегка изгибаются и взаимно притягиваются одна къ другой. Соотвѣтственно измѣненіямъ въ силѣ тока, магнитное вліяніе желѣзныхъ стержней то уменьшается, то увеличивается. Подъ этимъ вліяніемъ коробка сжимается и такимъ образомъ вибрируетъ во всѣхъ своихъ частяхъ. Этимъ объясняется необыкновенно сильное дѣйствіе пріемнаго телефона.

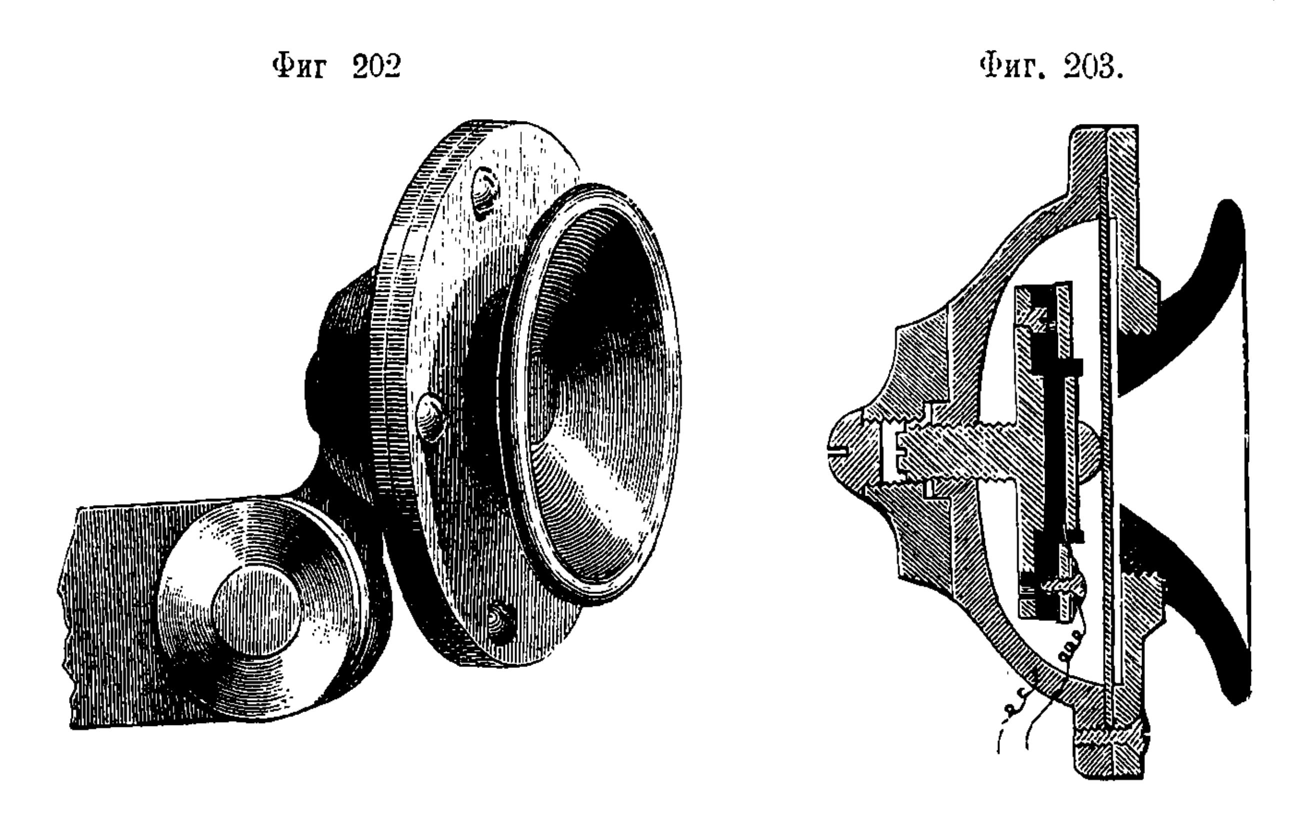
Фиг. 201.



Если черезъ телефонъ пропустить постоянный, непрерывный токъ,

то въ телефонѣ никакого звука не замѣтно: но если въ цѣпь ввести прерыватель или вообще приборъ, заставляющій силу тока колебаться, т. е. попеременно увеличиваться и уменьшаться, то сила притяженія магнита начнетъ мѣняться, вслѣдствіе чего получится сильное движеніе пластинки и соотвѣтствующій звукъ. Но этотъ звукъ будетъ грубъ, не чистъ, не ясенъ. Совершенно другой характеръ звука, мягкость, ясность будетъ достигнута, если ввести въ цѣпь мѣняющагося тока индуктирующую (внутреннюю) изъ двухъ навитыхъ другъ на друга (какъ въ приборѣ Румкорфа) спиралей, а телефонъ включить въ цѣпь наружной спирали, такъ что черезъ него пройдутъ только токи, индуктированные во внѣшней спирали, вслѣдствіе измѣнчивости силы тока, проходящаго черезъ внутреннюю. Если этотъ токъ будетъ даже вполнѣ прерываться, то индуктируемые токи не будутъ имѣть характера внезапнаго появленія и исчезновенія, и вслѣдствіе того не получится дребезжащаго, отрывистаго звука, а звукъ будетъ болѣе плавный и мягкій.

Телефонъ Белля не нуждается ни въ какихъ батареяхъ; онъ, какъ мы видѣли, самъ производитъ токъ. Существуютъ однако телефоны,



Фиг 202 Фиг. 203.

которые могутъ дѣйствовать только, когда черезъ нихъ проходитъ токъ отъ особой батареи. Къ нимъ принадлежитъ телефонъ, который, въ нѣкоторомъ смыслѣ, представляетъ уже переходъ къ микрофонамъ, телефонъ *Эдисона.* Онъ основанъ на томъ, что угольная пластинка или стержень измѣняетъ свое гальваническое сопротивленіе, если она подвергается давленію. Телефонъ Эдисона, изображенный на фиг. 202 и въ разрѣзѣ на фиг. 203-й, состоитъ изъ металлической пластинки, находящейся на днѣ амбушюры: внутри находится угольная пластинка, которой плотно касается пластинка платиновая съ придѣланною къ ней

пуговкою изъ слоновой кости, на которую вышеупомянутая, первая металлическая пластинка слегка надавливаетъ. Отъ платиновой пластинки идетъ изолированная проволока, а угольная пластинка соединена съ другою проволокою. Токъ отъ элемента постоянно проходитъ черезъ угольную пластинку. Если говорить въ амбушюру, то пластинка начинаетъ колебаться, вслѣдствіе чего ея давленіе на пуговку будетъ попеременно увеличиваться и уменьшаться; тогда гальваническое сопротивленіе угольной пластинки будетъ соотвѣтственно мѣняться, а отъ этого будетъ также колебаться сила тока, въ цѣпь котораго введена внутренняя спираль; отъ наружной идетъ затѣмъ линія къ другой станціи, на которой преемникомъ служитъ уже магнитный телефонъ Белля или одно изъ его видоизмѣненій.

Фиг. 204.

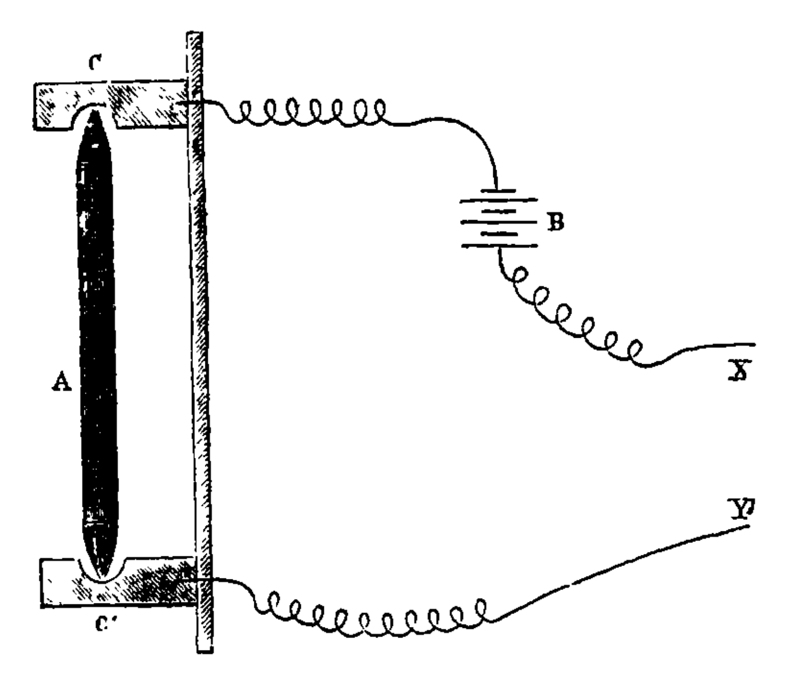
Станція системы Эдисона изображена на фиг. 204. Съ лѣвой стороны виденъ передатчикъ, — это телефонъ Эдисона, установленный такъ, чтобъ удобно было въ него говорить. Пріемникомъ служитъ телефонъ Фельпса — видоизмѣненіе телефона Белля съ магнитомъ, изогнутымъ въ кольцо. Онъ виситъ на крючкѣ внизу. Въ цѣпи дѣйствуютъ четыре элемента Лекланше.

Микрофонъ былъ изобрѣтенъ *Юзомъ*; онъ, въ простѣйшей своей формѣ, состоитъ изъ двухъ угольныхъ кусковъ C и C' (фиг. 205), между которыми помѣщается тоненькая угольная палочка A, которая верхнимъ и нижнимъ концами только слегка упирается въ угольки C и C'. Эти послѣдніе соединены съ элементомъ B и въ ту же цѣпь можетъ быть введенъ телефонъ непосредственно или посредствомъ спирали.

Первая цѣль микрофона заключалась въ передачѣ въ телефонъ въ высшей степени слабыхъ звуковъ. И дѣйствительно, если на горизонтальную доску, на которой установленъ вертикально микрофонъ, положить карманные часы, то ихъ удары явственно слышны въ телефонѣ. Легкій ударъ или проведеніе по доскѣ кисточкой даютъ въ телефонѣ

сильный трескъ. Ползаніе мухи по доскѣ слышно въ телефонѣ, который можетъ находиться на разстояніи нѣсколькихъ верстъ. Всякое сотрясеніе производитъ измѣненіе въ степени соприкасанія между угольками и вслѣдствіе этого измѣненіе силы тока, которое и передается телефономъ.

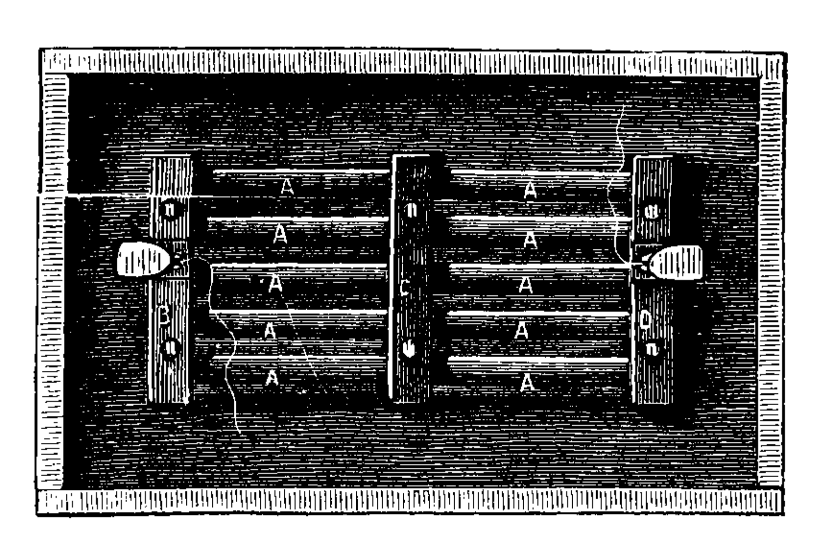
Фиг. 205.

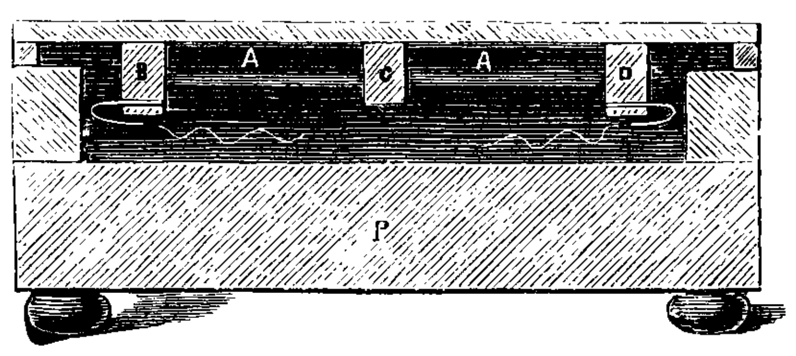


Весьма скоро микрофоны стали примѣняться не только для усиленія весьма слабыхъ звуковъ: стали пользоваться ими какъ передатчиками при телефонированіи и въ настоящее время они почти исключительно употребляются для восприниманія словъ говорящаго, между тѣмъ какъ для слушанія на другой станціи употребляется телефонъ. Примѣненіе микрофона передатчикомъ объясняется просто.

Вообразимъ, что угольная палочка была бы весьма чувствительна и съ точностью повторяла бы всѣ колебанія воздуха; въ этомъ случаѣ и сила тока слѣдила бы за всѣми этими колебаніями, которыя и передавались бы съ точностью телефону. Въ формѣ, изображенной на фиг. 205, микрофонъ однако не можетъ еще съ успѣхомъ служить для передачи рѣчи, развѣ только для передачи музыкальныхъ звуковъ. Существуетъ огромное число микрофоновъ съ разнообразно устроенными угольными контактами. Микрофонъ *Адера*, изображенный на фиг. 206 (наверху въ планѣ, внизу въ разрѣзѣ по вертикальной плоскости), состоитъ изъ двухъ рядовъ угольныхъ палочекъ *A*, установленныхъ горизонтально и упирающихся концами въ три угольныя палочки *B*, *C* и *D*, положенныя поперекъ. Въ настоящее

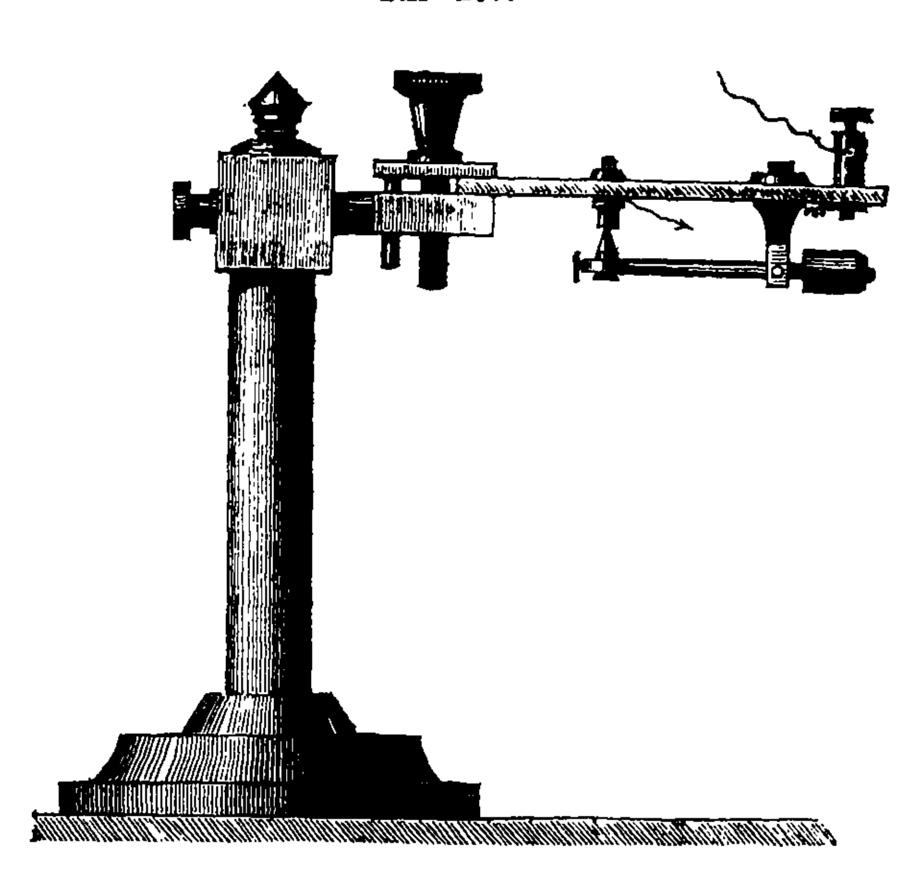
Фиг 206





время весьма большое распространеніе получилъ микрофонъ *Блека*; его соединили съ телефономъ Белля, составивъ систему *Блекъ-*

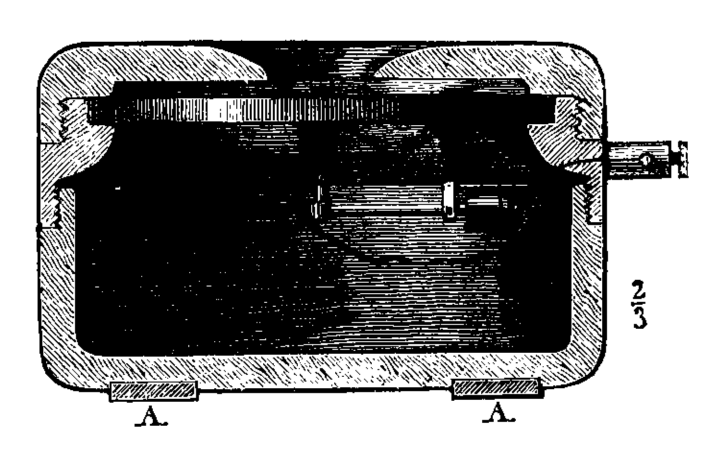
Фиг. 207.



Белль, введенную и въ Петербургѣ. Существенная его часть состоитъ изъ контакта угля и платины, давленіе между которыми регулируется системою пружинъ.

На фиг. 207 изображена одна изъ формъ микрофона доктора *Вредена*. Къ горизонтальной изолирующей пластинкѣ придѣланъ уголекъ (къ нему на чертежѣ присоединена короткая проволочка); другой пріостренный уголекъ, касающійся его снизу, прикрѣпленъ къ концу длиннаго плеча рычага перваго рода, на другомъ плечѣ котораго навинчена гирька. Перемѣщая эту гирьку, можно регулировать величину давленія между угольками, а тѣмъ и чувствительность прибора. На фиг. 208 изображенъ микрофонъ, помѣщенный внутри коробки, на крышкѣ которой сдѣлано воронкообразное отверстіе. Г. Вреденъ назвалъ это видоизмѣненіе микрофона фонофоромъ.

Фиг. 208.



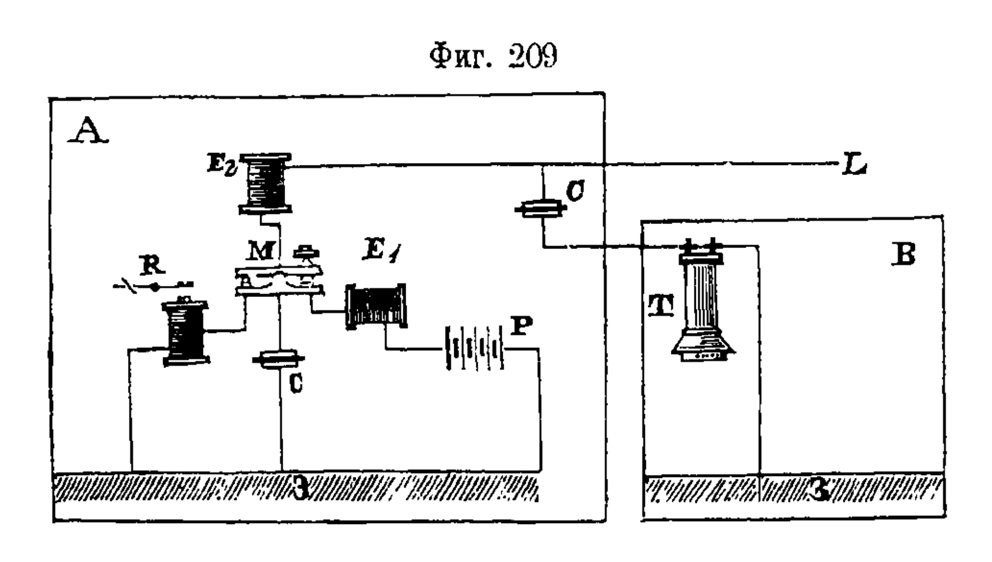
Система Риссельберге.

Одно изъ замѣчательнѣйшихъ изобрѣтеній послѣдняго времени представляетъ система бельгійца Риссельберге, которая даетъ возможность одновременно телеграфировать и телефонировать по одной и той же проволокѣ. Говорятъ, что французское правительство купило привилегію на замѣчательно простую идею Риссельберге за милліонъ франковъ.

Распредѣленіе проводовъ показано на фиг. 209. Проволока *L* (линія), по которой одновременно телеграфируютъ и телефонируютъ, развѣтвляется. Одна вѣтвь идетъ къ телеграфной станціи *A*, черезъ манипуляторъ *M* и электромагнитъ аппарата Морзе *R*. Другая въ телефонную станцію *B* черезъ конденсаторъ *C*; E_1 и E_2 два электромагнита, *C* (подъ *M*) второй конденсаторъ, *P* мѣстная батарея, *ЗЗ* земля, *T* телефонъ.

Такого устройства достаточно, чтобы по линіи *L* можно было одновременно телеграфировать и телефонировать. Дѣло заключается въ томъ.

Фиг. 209



что телефонный токъ, колеблющійся, имѣетъ другой характеръ, чѣмъ токъ телеграфный. Если телеграфный токъ заставить исчезать и являться медленно, тогда такой токъ не дѣйствуетъ на телефонъ: получается только медленное движеніе пластинки, но не получается замѣтнаго звука. Представимъ себѣ, что со стороны *L* мы одновременно телеграфируемъ и телефонируемъ. Телефонные токи, дойдя до конденсатора *C*, производятъ соотвѣтствующее заряженіе и разряженіе. Зарядный и разрядный токи, которые будутъ появляться въ части *C T З*, совершенно аналогичны дѣйствующимъ телефоннымъ токамъ, такъ что въ *T* получаются тѣ же звуки, какъ еслибъ *T* былъ непосредственно включенъ въ *L*. Токи телеграфные, которые являются въ *L*, также заряжаютъ и разряжаютъ конденсаторъ *C*; но если это происходитъ медленно, то въ телефонѣ дѣйствія никакого не замѣчается. Сущность замедленія въ появленіи и исчезновеніи телеграфныхъ токовъ заключается въ томъ, что токъ проходитъ черезъ сильный электромагнитъ E_2, вслѣдствіе чего замедляется по-

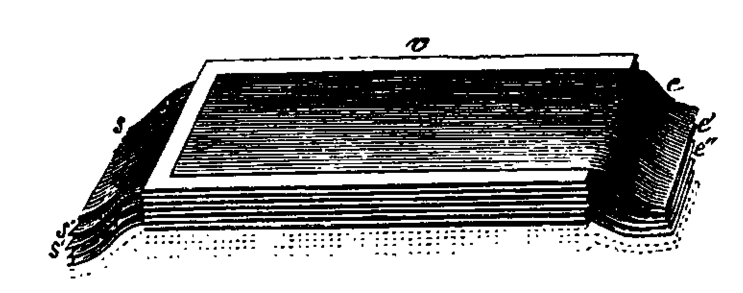
явленіе и исчезновеніе тока. Необходимо, чтобы сопротивленіе въ E_2 было значительное, покрайней мѣрѣ въ 500 омовъ; тогда только вся существенная часть телефонныхъ токовъ идетъ на заряженіе конденсатора и, слѣдовательно, воспринимается телефономъ.

Опытъ показалъ, что одновременно, совершенно независимо другъ отъ друга, можетъ совершаться телефонное и телеграфное сообщенія; телефонные и телеграфные токи, прибывая по L, какъ бы сортируются: одни дѣйствуютъ только на Морзе R, другіе только на телефонъ T.

Прохожденіе электричества черезъ разрѣженные газы. Опыты Крукса.

Устройство спирали Румкорфа было изложено въ X-й лекціи (см. стр. 181—184). Теперь разсмотримъ нѣкоторые опыты, которые можно продѣлать съ этимъ приборомъ, въ особенности опыты Крукса. Но предварительно добавимъ одну подробность, относящуюся до его устройства. Въ ящикѣ, на которомъ устанавливается спираль, помѣщается конденсаторъ, который вводится въ отвѣтвленіе главной цѣпи, къ которой принадлежитъ внутренняя спираль и чрезъ которую проходитъ главный, непрерывнопрерываемый токъ. Значеніе конденсатора (фиг. 210), заключается въ слѣдующемъ: когда происходитъ разрывъ тока во внутренней спирали, то въ ней же индуктируется токъ прямой, т. е. имѣющій то же направленіе, какъ и токъ прерываемый; это экстракуррентъ, о которомъ было сказано на стр. 185. Онъ не встрѣчаетъ уже замкнутой цѣпи и только часть его успѣваетъ пройти черезъ мѣсто разрыва, усиливая яркость искры (стр. 185). Остальная часть электричества, дойдя до мѣста разрыва, течетъ *обратно*, чѣмъ и уменьшается индукціонное дѣйствіе. Если же введенъ конденсаторъ, то электричества, теченіе которыхъ образуетъ экстракуррентъ, заряжаютъ конденсаторъ. Вслѣдствіе этого искра въ точкѣ разрыва главнаго тока уменьшается, но индукціонное дѣйствіе увеличивается.

Фиг. 210.

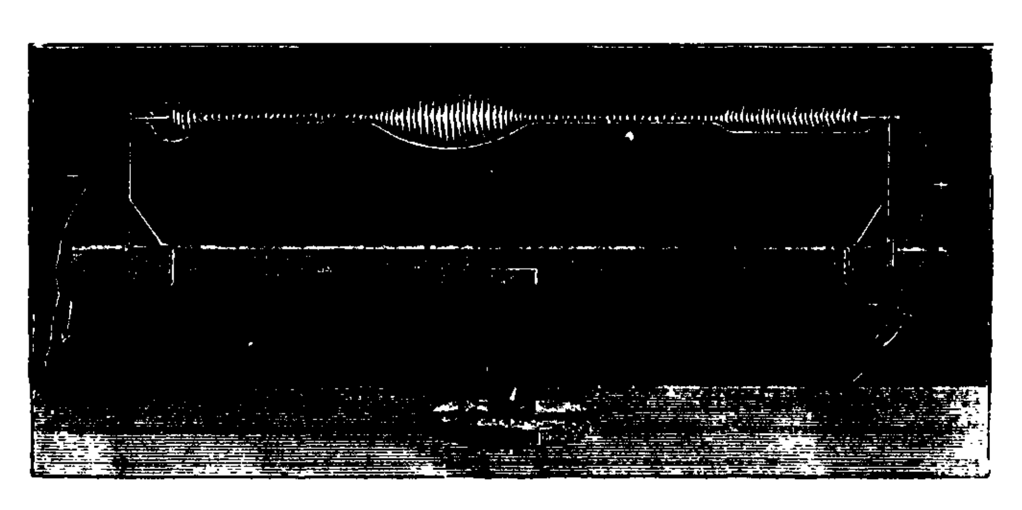


Между электродами, соединенными съ полюсами (A и B фиг. 152, стр. 183) внѣшней спирали, получаются искры (см. фиг. 154), длина которыхъ зависитъ отъ формы электродовъ; между широкими электродами получается болѣе длинная искра, чѣмъ между узкими Кромѣ того, искра

получается длиннѣйшая, когда отрицательный электродъ имѣетъ форму пластинки, а положительный—форму острія, чѣмъ наоборотъ (см. фиг. 154).

Если постепенно выкачивать изъ трубки воздухъ и черезъ него пропускать разрядъ спирали, то въ трубкѣ получится сначала ярко свѣтящаяся узкая полоса; она переходитъ затѣмъ (при дальнѣйшемъ выкачиваніи) въ широкую полосу голубоватаго цвѣта и, наконецъ, вся трубка наполнится слабымъ голубымъ свѣтомъ. Трубки, въ которыхъ обнаруживается это явленіе, называются *Гейсслеровыми*. Если, во время прохожденія черезъ нее разрядовъ, вблизи ея держать магнитъ, то окажется, что свѣтовая полоса отклоняется въ сторону, что̀ и понятно, такъ какъ она должна имѣть всѣ свойства электрическаго тока. Свѣтовая полоса, наблюдаемая въ Гейсслеровыхъ трубкахъ, окрашена около отрицательнаго полюса синимъ цвѣтомъ; положительный же полюсъ окруженъ болѣе фіолетовымъ свѣтомъ. Впрочемъ, цвѣтъ зависитъ отъ рода газа, заключающагося въ трубкѣ. Въ Гейсслеровыхъ трубкахъ

Фиг. 211.



весьма часто замѣчается явленіе, которое называется полосатостью (стратификаціею), см фиг. 211. Это явленіе заключается въ томъ, что свѣтовая полоса, появляющаяся внутри трубки, оказывается полосатою. Въ 1852 г. *Грове* ввелъ въ такую трубку фосфоръ, Кэ (Quet) ввелъ скипидаръ; въ обоихъ случаяхъ явленіе полосатости свѣта въ трубкѣ обнаружилось съ особенною силою. Настоящая причина этого явленія неизвѣстна; нѣкоторые ученые полагали, что свѣтовыя полоски происходятъ отъ послѣдовательныхъ токовъ, которые получаются отъ Румкорфовой спирали; но опыты показали, что это предположеніе не вѣрно, потому что и одна, единственная индукція, получаемая отъ спирали, даетъ, хотя мгновенный, но также полосатый свѣтъ.

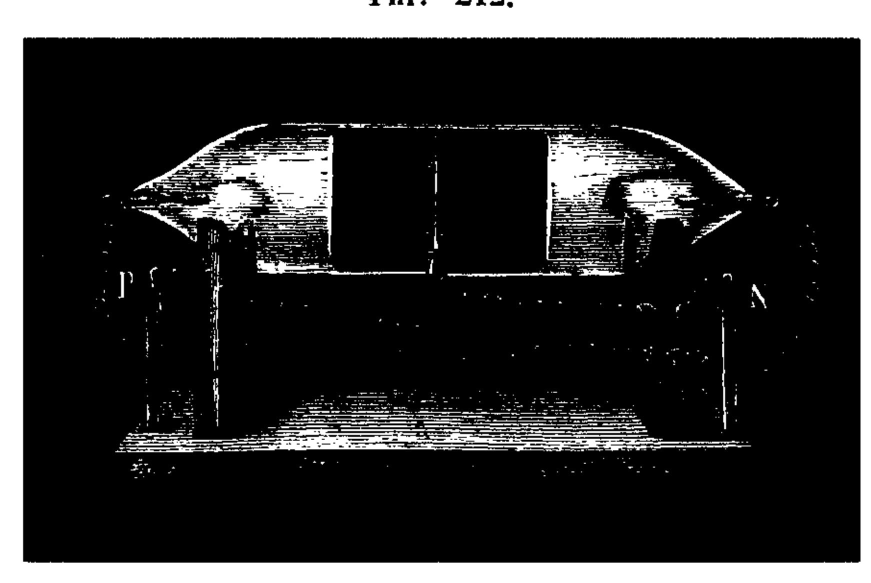
Извѣстно, что большая часть электрическихъ разрядовъ имѣетъ характеръ колебаній (см. стр. 27). Если разрядъ, получаемый въ Гейсслеровой трубкѣ, разсматривать въ быстро вращающемся зеркалѣ, то каждая отдѣльная часть колебательнаго разряда можетъ быть наблю-

даема отдѣльно; но при этомъ оказывается, что каждая отдѣльная часть каждаго колебательнаго разряда даетъ свѣтъ полосатый. *Гассіо* удалось получить безъ всякой Румкорфовой спирали, прямо отъ чрезвычайно сильной батареи, при непрерывномъ постоянномъ токѣ, въ Гейсслеровой трубкѣ полосатости странной, подковообразной формы. Оказывается, что при не очень сильномъ разрѣженіи полосатость не появляется; при дальнѣйшемъ разрѣженіи она появляется у положительнаго полюса, распространяется дальше и дальше и, наконецъ, наполняетъ собою всю трубку. *Деларивъ* полагаетъ, что это происходитъ отъ того, что вся трубка раздѣляется на послѣдовательные слои различной, въ одномъ мѣстѣ большей, въ слѣдующемъ меньшей плотности; чѣмъ больше плотность, тѣмъ меньше проводимость и больше свѣченіе. *Кэ* сдѣлалъ предположеніе, что вся трубка раздѣляется на слои, какъ бы попарно электризованные разнозначно, положительно и отрицательно; эти слои попарно притягиваются. *Рейтлингеръ* полагаетъ, что вещество, наполняющее трубку, разлагается на составныя части, распредѣляющіяся слоями; если напр. трубка наполнена парами воды, то часть ихъ разлагается на водородъ и кислородъ, которые и распредѣляются попеременными слоями

Одновременно съ полосатостью замѣчается явленіе *флуоресценціи*, заключающееся въ томъ, что стекло трубки начинаетъ самостоятельно свѣтиться, и притомъ, обыкновенно, другими цвѣтами, чѣмъ тотъ, которымъ свѣтятся слои разрѣженнаго газа; есть, наконецъ, трубки, въ которыхъ замѣчается *фосфоресценція*, т. е. продолжающееся нѣкоторое время, послѣ прекращенія тока, свѣченіе.

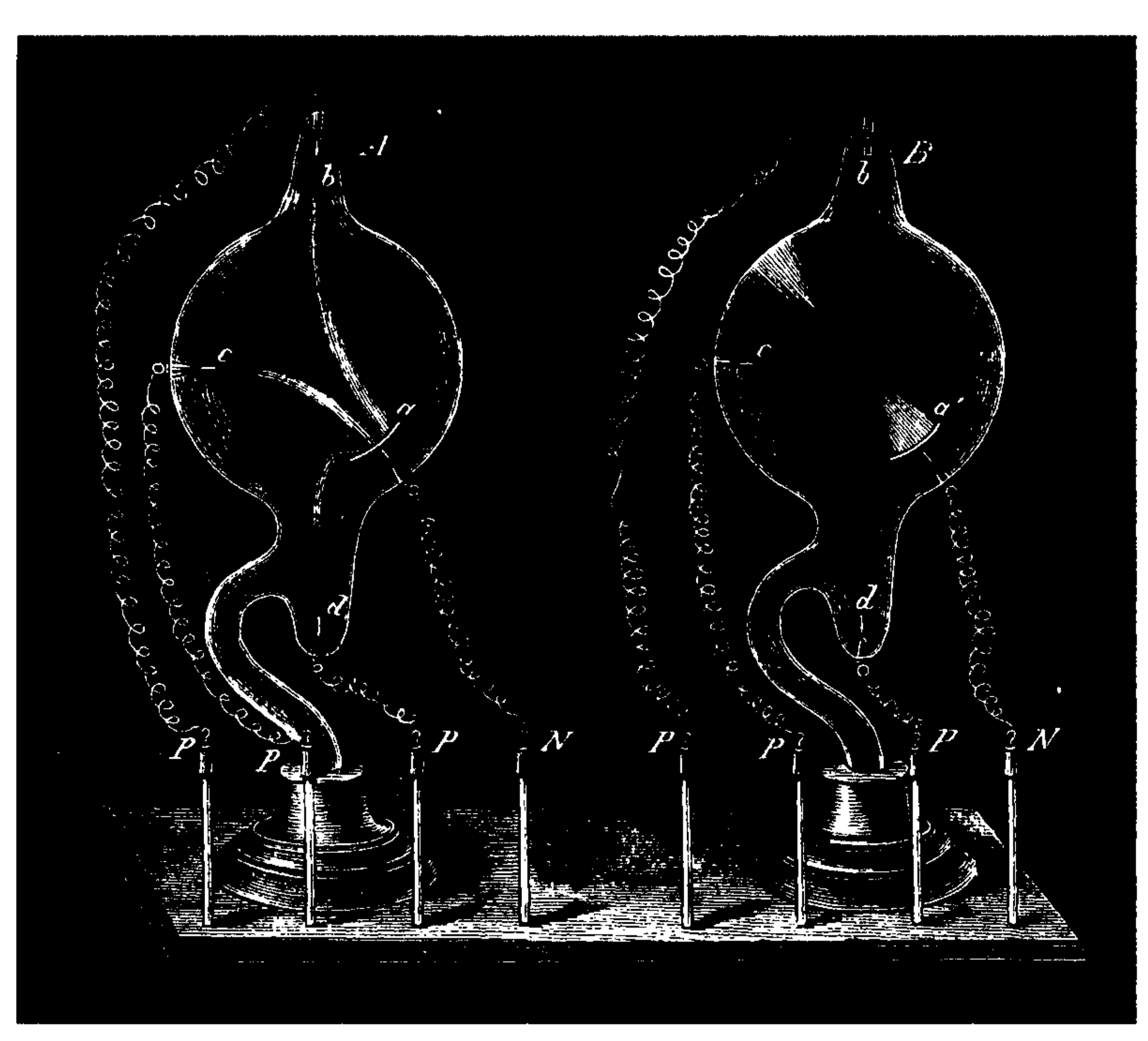
Круксъ и *Гитторфъ* нашли, что если въ трубкѣ находится весьма разрѣженный воздухъ, то, при пропусканіи тока, около отрицательнаго полюса появляется слабо синеватая темная полоса; по мѣрѣ дальнѣйшаго разрѣженія, эта темная полоска распространяется отъ отрицательнаго полюса все дальше и дальше и притомъ по прямой линіи, независимо отъ того, въ какомъ мѣстѣ находится положительный полюсъ. На фиг. 212-й изображенъ одинъ изъ приборовъ Крукса. Платиновыя проволоки, впаянныя въ двухъ концахъ трубки, соединены *обѣ* съ P; пластинка, помѣщенная посреди трубки, соединена съ N. Если положитель-

Фиг. 212.



ный полюсъ спирали соединить съ P, отрицательный съ N, то съ обѣихъ сторонъ отъ средней пластинки появляется темное пространство, увеличивающееся при дальнѣйшемъ разрѣженіи. Оно, наконецъ, наполняетъ всю трубку. Та часть стѣнки трубки, въ которую, наконецъ, такъ сказать, ударяетъ эта темная полоса, начинаетъ сама свѣтиться, испуская зеленоватый свѣтъ. Отрицательный полюсъ какъ бы испускаетъ струю весьма слабо свѣтящихся «лучей», распространяющихся прямо-

Фиг. 213.



линейно и вызывающихъ тамъ, гдѣ они встрѣчаютъ стѣнку трубки, сильнѣйшую флуоресценцію, цвѣтъ которой (зеленый, голубой, розовый) зависитъ отъ сорта стекла. На фиг. 213-й изображены рядомъ два прибора совершенно одинаковаго устройства, но въ лѣвой воздухъ разрѣженъ до $^1/_{500}$ (трубка Гейсслера), въ правой же примѣрно до $^1/_{1000000}$ (трубка Крукса). Въ каждую впаяны три платиновыя проволочки b, c и d, соединенныя съ тремя P и вогнутая пластинка (a, и a'), соединенная съ N. Если отрицательный полюсъ спирали соединить съ N, положительный съ однимъ изъ P или съ двумя изъ нихъ или даже со всѣми тремя заразъ, то въ лѣвомъ приборѣ всегда получается изогнутая свѣтовая полоса, или нѣсколько полосъ, соединяющихъ пластинку a съ соотвѣтствующими платиновыми проволоками. Въ правомъ же приборѣ,

независимо отъ положенія положительнаго полюса, получается всегда одно и то же явленіе, показанное на чертежѣ. Вогнутая пластинка *a'* даетъ сходящіеся лучи, которые затѣмъ расходятся. Тамъ, гдѣ они встрѣчаютъ стекло, обнаруживается сильное свѣченіе, соединенное съ нагрѣваніемъ стекла.

Круксъ объясняетъ эти явленія слѣдующимъ образомъ. По современному взгляду на газообразныя тѣла мы допускаемъ, что всякій газъ состоитъ изъ безчисленнаго множества мельчайшихъ частицъ, которыя быстро движутся по всѣмъ направленіямъ, непрерывно сталкиваясь между собою. Среднее разстояніе, пробѣгаемое частицей отъ одного столкновенія до слѣдующаго, называется *среднею длиною пути.*

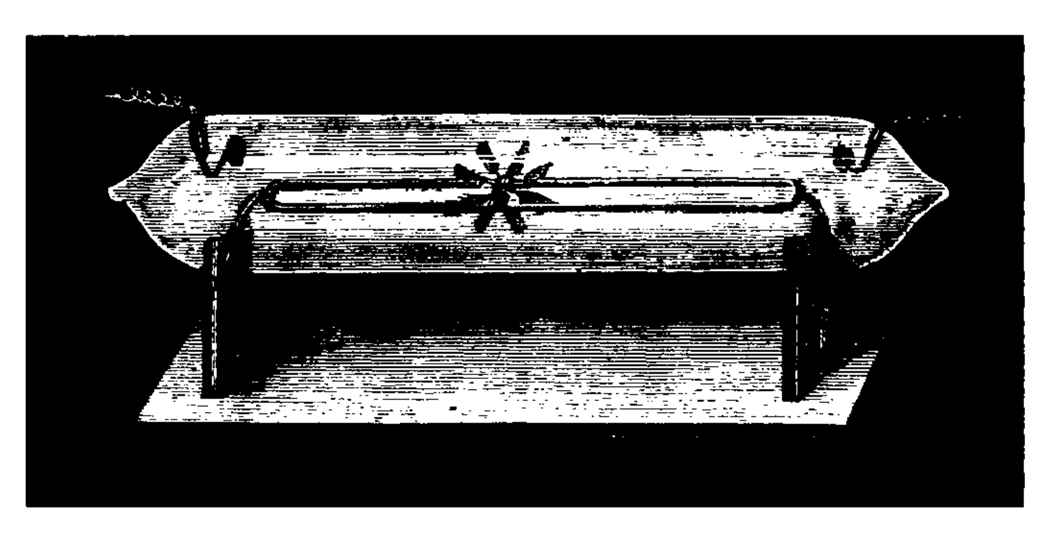
Вычисленія, несомнѣнно основанныя на точныхъ данныхъ, показали, что для воздуха напр. число частицъ, заключающихся въ кубическомъ сантиметрѣ газа, въ высшей степени громадно. Вслѣдствіе этого, сталкиванія частицъ съ другими происходятъ чрезвычайно часто. Хотя скорость частицы равна полверстѣ въ секунду, средній путь составляетъ не болѣе одной десятитысячной доли миллиметра, если воздухъ не разрѣженъ.

Но, по мѣрѣ разрѣженія газа, частицы получаютъ бо́льшую свободу двигаться и средній путь ихъ дѣлается длиннѣе. Если разрѣдить воздухъ до одной милліонной доли (плотности), то средняя длина пути частицы дѣлается равною одному дециметру. Это уже довольно значительное разстояніе. Круксъ объясняетъ появленіе темнаго пространства тѣмъ, что въ трубкѣ средняя длина пути равна именно длинѣ этого темнаго пространства; частицы газа, приходя въ соприкосновеніе съ отрицательнымъ полюсомъ, весьма сильно электризуются и затѣмъ этимъ полюсомъ отталкиваются, такъ что летятъ отъ него прямолинейно; темное пространство и есть то, черезъ которое частицы газа летятъ вовсе не сталкиваясь между собою. Тамъ, гдѣ частицы газа начинаютъ сталкиваться, появляется свѣченіе, которое, слѣдовательно, является результатомъ передачи электричества между частицами газа въ моментъ взаимнаго ихъ сталкиванія. По мѣрѣ дальнѣйшаго разрѣженія воздуха, средняя длина пути увеличивается и темное пространство распространяется все дальше и дальше. Въ этомъ темномъ пространствѣ газовыя частицы имѣютъ, потому, и другой характеръ движенія, чѣмъ во всѣхъ другихъ случахъ: всѣ частицы двигаются въ одномъ и томъ же направленіи. Тѣло, частицы котораго всѣ движутся въ одномъ и томъ же направленіи, Круксъ называетъ тѣломъ, находящимся *въ четвертомъ состояніи*, въ отличіе отъ извѣстныхъ трехъ состояній матеріи: твердаго, жидкаго и газообразнаго. Найденное имъ состояніе матеріи, въ данномъ случаѣ, существенно отличается отъ газообразнаго, и вмѣстѣ съ тѣмъ это состояніе матеріи совершенно особое; онъ назвалъ ее *матеріею лучистою.*

Если далѣе разрѣжать воздухъ въ трубкѣ до одной десяти милліон-

ной доли, то темное пространство распространяется отъ отрицательнаго полюса до противоположной стѣнки трубки; въ этомъ случаѣ отъ отрицательнаго полюса будетъ исходить непрерывное прямолинейное теченіе газовыхъ частицъ, которыя, ударяя въ стѣнку трубки, заставляютъ ее свѣтиться. Стѣнка, по удачному выраженію Крукса, подвергается молекулярному бомбардированію, и вслѣдстіе этого-то стекло и начинаетъ свѣтиться голубоватымъ, синеватымъ или зеленоватымъ свѣтомъ, смотря по его составу. При этомъ обнаруживается и сильное нагрѣваніе, такъ что если посредствомъ выпуклаго зеркала сосредоточить лучи на платиновой пластинкѣ, то пластинка можетъ нагрѣться до краснаго и бѣлаго каленія и даже можетъ расплавиться. Если направить эти лучи на вещество, способное сильно флуоресцировать, то это вещество начнетъ ярко свѣтиться; такъ напр. алмазъ, помѣщенный въ фокусѣ этихъ лучей, начинаетъ свѣтиться великолѣпнымъ голубымъ свѣтомъ.

Фиг. 214.



Если на пути электрическихъ лучей, исходящихъ изъ отрицательнаго полюса, поставить легкоподвижное тѣло, хотя-бы въ видѣ мельницы съ крыльями, то оно начнетъ двигаться по направленію самихъ электрическихъ лучей (см. фиг. 214).

Вопросъ о сущности того, что собственно происходитъ въ трубкахъ Крукса, еще не разрѣшенъ. Пражскій профессоръ *Гинтль* полагаетъ, что всѣ эти явленія не должны быть объяснены прямолинейнымъ движеніемъ частицъ газа, но прямолинейнымъ движеніемъ мельчайшихъ частицъ того твердаго тѣла, изъ котораго сдѣланъ отрицательный электродъ. Частицы эти отрываются отъ электрода и составляютъ «электрическіе лучи».

О термоэлектричествѣ.

Мы уже неоднократно замѣчали связь между электрическими и тепловыми явленіями. Такъ мы видѣли (стр. 74), что электрическій токъ представляетъ собою явленіе непрерывнаго перехода химической энергіи

въ тепловую. Еще разъ мы замѣтили связь между электричествомъ и теплотою, когда рѣчь шла о томъ, что нагрѣваніе мѣняетъ электрическое сопротивленіе проводниковъ, увеличиваетъ сопротивленіе металлическихъ, уменьшаетъ сопротивленіе жидкихъ проводниковъ (см. стр. 86 и 90). Существуетъ однако еще одна, въ высшей степени важная, группа явленій, въ которыхъ замѣчается связь между электричествомъ и теплотою, группа явленій, въ которой, какъ разъ наоборотъ, происходитъ переходъ тепловой энергіи въ электрическую.

Если спаять желѣзную проволоку *A*, (фиг. 215) съ мѣдною проволокою *B* и концы соединить между собою, то понятно, что въ соединительной проволокѣ никакого тока не обнаружится. Но стоитъ только подогрѣть мѣсто спая *C*, и тотчасъ же обнаружится токъ. Это показываетъ, что вслѣдствіе нагрѣванія спая появилась электровозбудительная сила; при этомъ оказывается, что токъ пойдетъ черезъ нагрѣтый спай отъ мѣди къ желѣзу, какъ показано стрѣлкой. Получающійся въ данномъ случаѣ токъ называется *термоэлектрическимъ*, а спаянныя металлическія проволоки термоэлектрическимъ элементомъ. Явленіе это было открыто *Зебекомъ* въ 1823 году. Оказывается, что всѣ металлы можно распредѣлить въ извѣстный рядъ, причемъ при нагрѣваніи спая двухъ изъ нихъ токъ пойдетъ чрезъ спай отъ металла, вышестоящаго въ этомъ ряду, къ металлу нижестоящему. Этотъ рядъ слѣдующій: висмутъ, ртуть, платина, золото, мѣдь, олово, свинецъ, цинкъ, серебро, желѣзо, сурьма. Висмутъ и сурьма самые крайніе металлы въ этомъ ряду и если изъ нихъ составить термоэлектрическій элементъ, то электровозбудительная сила будетъ наибольшая.

Фиг. 215.

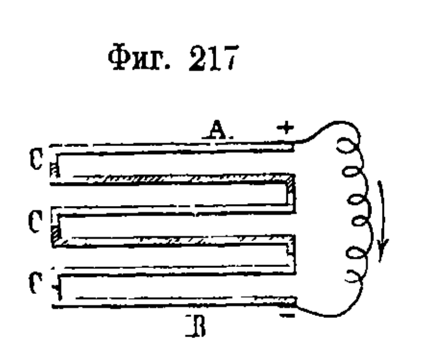
Фиг. 216.

Зебекъ построилъ маленькій приборъ, состоящій изъ висмутовой пластинки *BB'* (фиг. 216), въ которой припаяны концы изогнутой мѣдной полоски *CC'*. Внутри элемента помѣщается магнитная стрѣлка. Если нагрѣть одинъ изъ спаевъ, то стрѣлка отклоняется въ сторону, что и доказываетъ появленіе тока въ замкнутой цѣпи *BCC'B'B*. Что же касается до абсолютной вели-

чины тока, то, вообще говоря, электровозбудительная сила термоэлектрическаго элемента можетъ быть равна примѣрно 0,05 *D*. Кромѣ металловъ могутъ быть употреблены для термоэлектрическихъ элементовъ и нѣкоторые колчеданы и окислы.

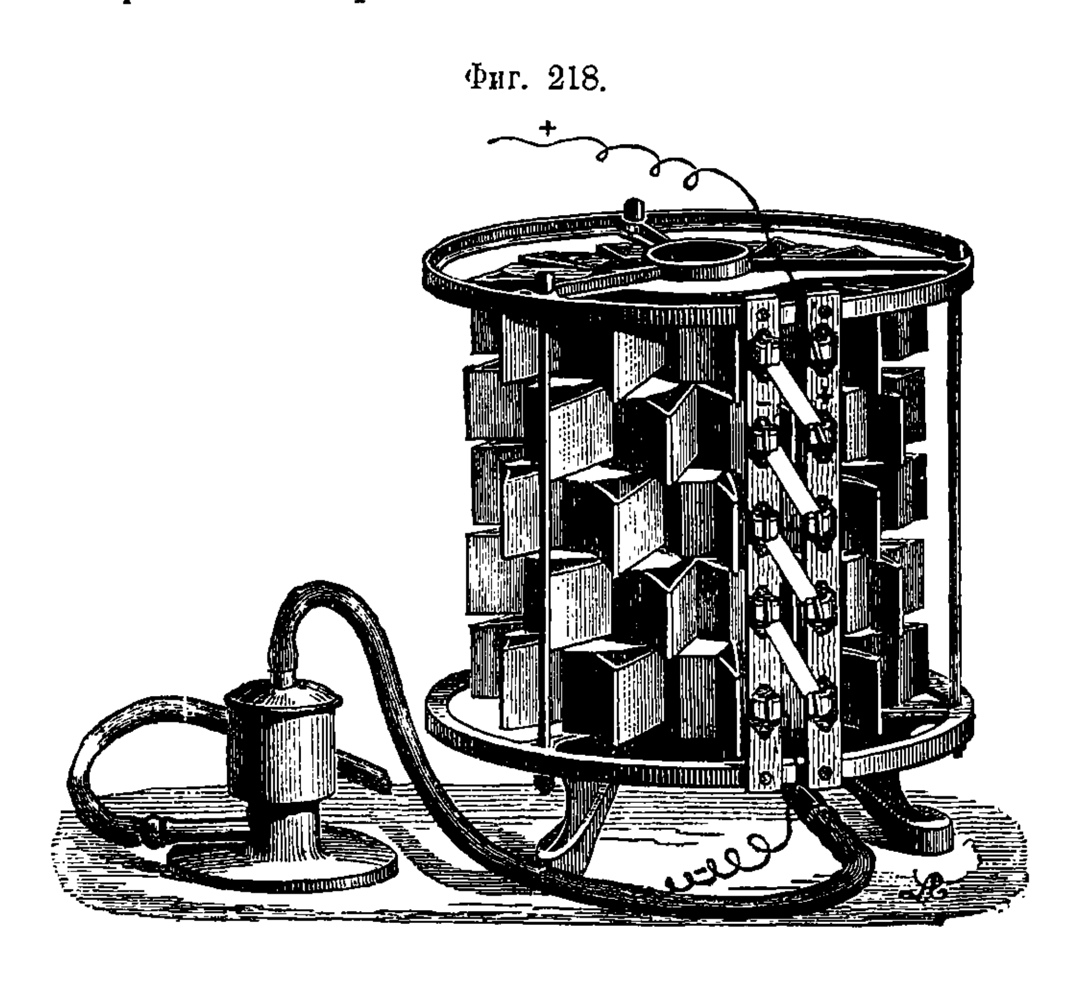
Примѣненіе термоэлектрическихъ элементовъ чрезвычайно разнообразное; они могутъ указывать температуру того мѣста, въ которомъ помѣщенъ спай, величиною отклоненія магнитной стрѣлки гальванометра, причемъ измѣряющій температуру термоэлектрическій элементъ можетъ находиться въ одномъ мѣстѣ, а гальванометръ и вмѣстѣ съ нимъ наблюдатель въ совершенно другомъ. Элементъ можетъ быть опущенъ въ глубь моря, а на берегу или на кораблѣ, по величинѣ отклоненія стрѣлки гальванометра, можно опредѣлить температуру на днѣ моря.

Фиг. 217



Если, вмѣсто того, чтобы нагрѣвать спай, его охладить, то получится токъ обратнаго направленія.

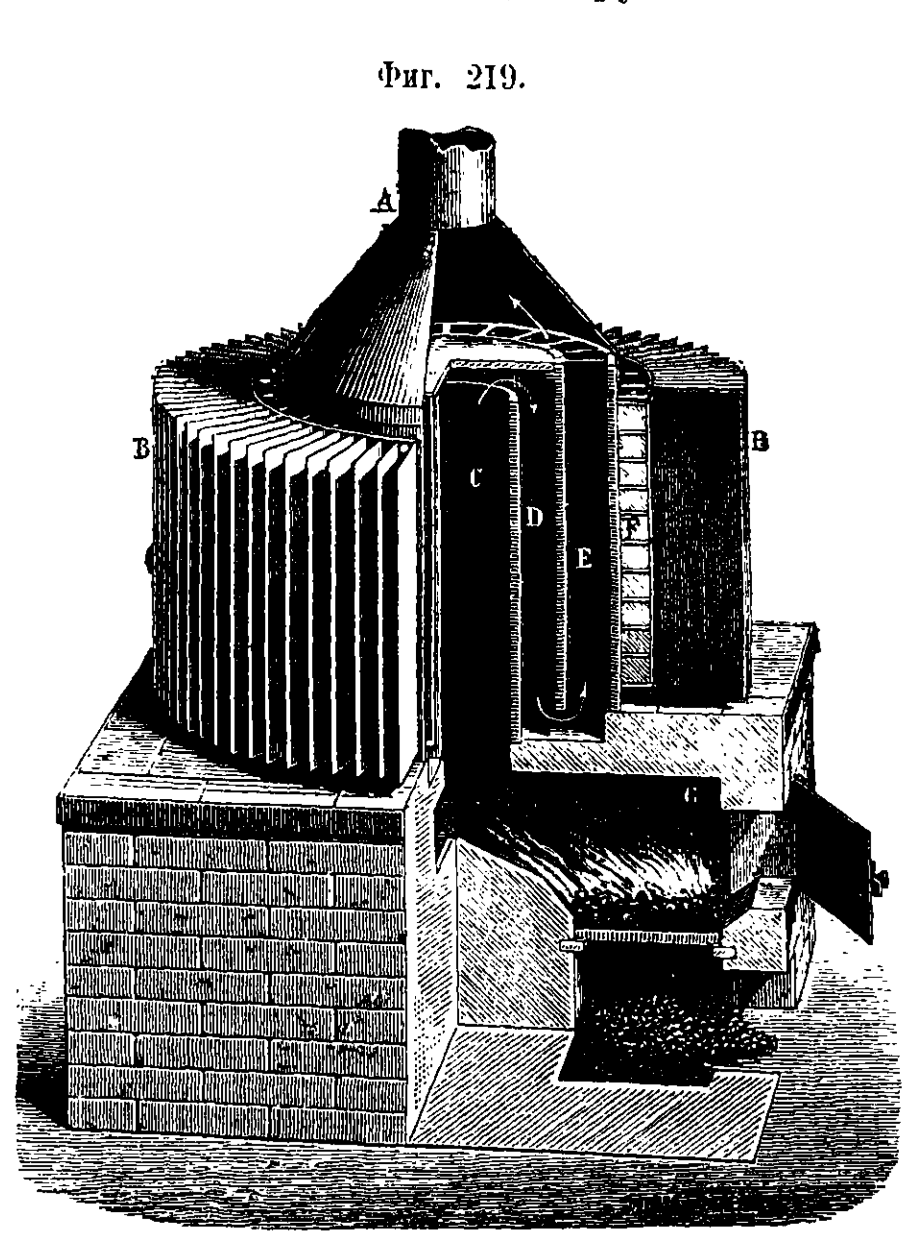
Фиг. 218.



Неоднократно были составляемы различными учеными термо-электрическія батареи, т. е. соединенія множества термоэлектрическихъ элементовъ. Такая батарея состоитъ изъ ряда полосокъ, спаянныхъ зигзагомъ и состоящихъ попеременно напр. изъ висмута и сурьмы или изъ мѣди и желѣза. На фиг. 217 изображена маленькая батарея, состоящая изъ трехъ элементовъ. Всѣ спаи, обращенные въ одну сто-

рону, нагрѣваютъ, обращенные въ другую, если можно, охлаждаютъ. Чѣмъ больше будетъ разность между температурами двухъ рядовъ спаевъ, тѣмъ больше будетъ и электровозбудительная сила батареи. Между термо-электрическими батареями особенно замѣчательна батарея *Ноэ*, въ которой спаяны попеременно стержни, изъ которыхъ одни состоятъ изъ сплава сурьмы и цинка, а другіе—изъ сплава, похожаго

Фиг. 219.



на нейзильберъ. Особенно знаменита термо-электрическая батарея *Кламона*, въ составъ которой входятъ попеременно пластинки изъ сплава двухъ частей сурьмы и одной части цинка и изъ луженаго желѣза. 4 батареи Кламона, по 400 элементовъ въ каждой, имѣютъ электровозбудительную силу, равную силѣ 50 элементовъ Бунзена. На фиг. 218-й изображена батарея Кламона, имѣющая видъ полаго цилиндра. Одни спаи обращены во внѣшнюю сторону, другіе, обращенные во внутрь цилиндра, нагрѣваются газовымъ пламенемъ; на чертежѣ видна газоприводная трубка.

Въ 1879 г. Кламонъ построилъ громадную термо-электрическую батарею, въ которой нагрѣваніе происходитъ горящимъ углемъ или кок-

сомъ. Она изображена на фиг. 219. Сама батарея состоитъ изъ большаго числа (до 6,000) элементовъ (сплавъ висмута и сурьмы и желѣзо), расположенныхъ по поверхности цилиндра. Спаи, обращенные во внутрь, нагрѣваются чугуннымъ тройнымъ цилиндромъ *CDE*, черезъ всѣ отдѣленія котораго проходятъ, какъ показано стрѣлками, горячіе газы, образующіеся въ *G*. Для увеличенія охлажденія наружной стороны батареи, къ ней прикрѣпленъ рядъ вертикально поставленныхъ мѣдныхъ пластинокъ. При температурѣ горячихъ спаевъ въ 360°, а наружныхъ въ 80°, батарея въ 3,000 элементовъ имѣетъ электровозбудительную силу въ 109 вольтовъ, между тѣмъ какъ внутреннее сопротивленіе равно только 15,5 омамъ. Батарея въ 6,000 элементовъ сжигаетъ 10 килогр. кокса въ часъ; она можетъ поддерживать горѣніе двухъ лампъ Серрена, въ 800 свѣчей каждая.

Термоэлектрическій токъ получается и въ томъ случаѣ, если нагрѣвать мѣсто соприкосновенія двухъ кусковъ одного и того же металла, отличающихся только структурою. Если напр. взять жесткую проволоку и одну часть ея прокалить такъ, чтобы она сдѣлалась мягкою, то при нагрѣваніи того мѣста, гдѣ жесткая проволока переходитъ въ мягкую, является электровозбудительная сила. Если одну часть проволоки натянуть, то при нагрѣваніи мѣста, гдѣ начинается натянутость проволоки, появляется электровозбудительная сила. То же самое происходитъ, если часть желѣзной проволоки намагнитить и нагрѣть мѣсто, гдѣ намагниченная часть проволоки переходитъ въ ненамагниченную. *Леру* показалъ, что если сложить двѣ различно толстыя проволоки и нагрѣть мѣсто соприкасанія, то также получится электровозбудительная сила.

Электровозбудительная сила термо-электрическаго элемента при несильномъ нагрѣваніи ростетъ пропорціонально разности между температурами двухъ спаевъ; но потомъ, при болѣе сильномъ нагрѣваніи, пропорціональность перестаетъ имѣть мѣсто, что было подробно изслѣдовано *Драперомъ*, *Авенаріусомъ*, *Реньо* и *Гогеномъ*. Если спаять мѣдь и желѣзо, то окажется, что наибольшая электровозбудительная сила появится, когда одинъ спай находится при температурѣ 140°, а другой при температурѣ 0°; при дальнѣйшемъ нагрѣваніи одного спая электровозбудительная сила уменьшается и при 300° доходитъ до нуля, а при еще большемъ нагрѣваніи переходитъ въ обратную сторону,— т. е. токъ мѣняетъ свое направленіе.

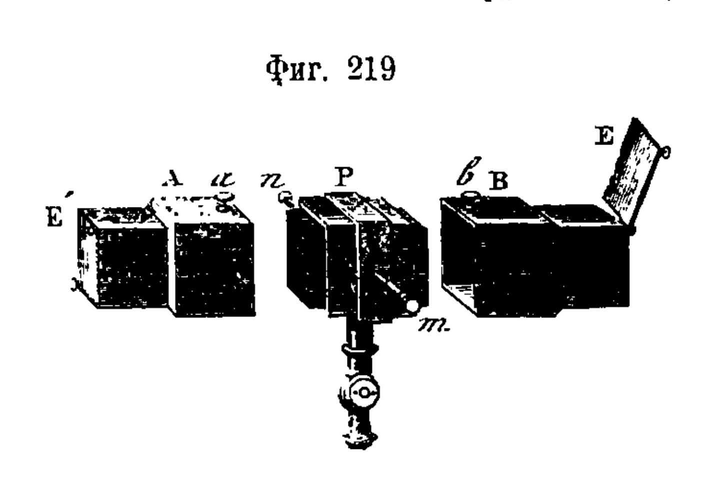
Уже въ 1798 г. *Риттеръ* показалъ, что получается электровозбудительная сила, если просто сложить вмѣстѣ двѣ проволоки, изъ которыхъ одна холодная, а другая теплая. Это было подробно изслѣдовано впослѣдствіи *Магнусомъ*.

Термо-электрическій токъ можетъ, далѣе, получиться, если нагрѣть

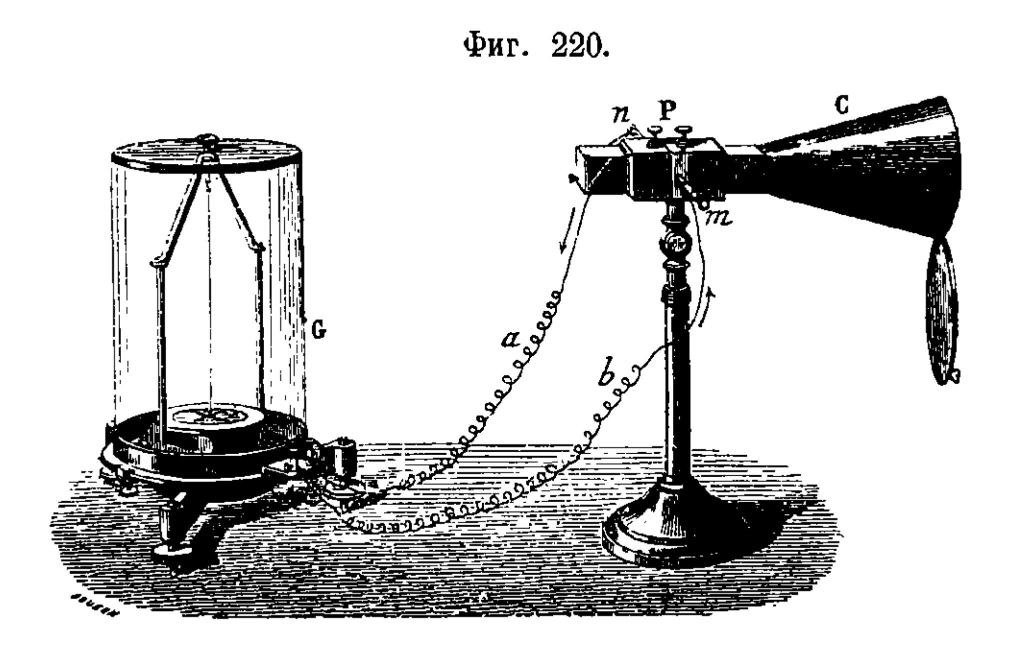
то мѣсто, гдѣ взаимно соприкасаются металлы съ жидкостями и даже жидкости между собою.

Несомнѣнно, полезнѣйшій изъ всѣхъ термо-электрическихъ приборовъ— это знаменитый *термо-электрическій столбикъ Нобили Р*, (фиг. 219). Онъ состоитъ изъ тонкихъ кусочковъ сурьмы и висмута, которые концами спаяны, такъ что образуютъ зигзаги; нѣсколько послѣдовательно соединенныхъ рядовъ такихъ зигзаговъ образуютъ четырехъ-угольный столбикъ. Всѣ четные спаи обращены въ одну сторону, нечетные въ другую. *А* и *В* два цилиндра, снабженные дверцами *Е* и *Е'*, которые надѣваются на столбикъ. Если начало и конецъ всѣхъ элементовъ, посредствомъ зажимныхъ винтовъ, соединить съ весьма чувствительнымъ гальванометромъ, то достаточно приближенія руки къ одной сторонѣ столбика, чтобы получить замѣтное отклоненіе стрѣлки гальванометра. Столбикъ *Р* вмѣстѣ съ гальванометромъ *G* представлены на фиг. 220.

Фиг. 219



Фиг. 220.



Если пропустить токъ черезъ какія нибудь проволоки, то онѣ, какъ извѣстно, нагрѣваются; оказывается однако, что если черезъ спай двухъ металловъ пропустить токъ въ томъ направленіи, въ какомъ получился бы токъ при нагрѣваніи этого спая, то этотъ спай будетъ *охлаждаться*; а если пропустить токъ въ противуположномъ направленіи, то этотъ спай будетъ сильнѣе нагрѣваться, чѣмъ слѣдовало бы ожидать. Это замѣчательное явленіе открылъ *Пельтье*.